ESTUDIOS DE HISTORIA DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

por

ALEXANDRE KOYRÉ







Traducción de

ENCARNACIÓN PÉREZ SEDEÑO

y

EDUARDO BUSTOS



siglo veintiuno editores, sa
CERRO DEL AGUA 248, MEXICO 20, D.F.

siglo veintiuno de españa editores, sa
C/PLAZA 5, MADRID 33, ESPAÑA

siglo veintiuno argentina editores, sa

siglo veintiuno de colombia, ltda
AV. 3a. 17-73 PRIMER PISO. BOGOTA, D.E. COLOMBIA

portada de anhelo hernández

primera edición en español, octubre de 1977
segunda edición en español, enero de 1978

ISBN 968-23-0003-7 siglo xxi editores, s. a. [mexico]
ISBN 84-323-0275-9 siglo xxi de españa editores, s. a.

primera edición en francés, 1973
título original: études d'histoire de la pensée scientifique

impreso y hecho en méxico/printed and made in mexico

ÍNDICE

PRÓLOGO

Los artículos y ensayos reunidos en este volumen ilustran diversos aspectos de una cuestión de un interés fundamental, a cuyo estudio Alexandre Koyré ha consagrado lo esencial de su obra de historiador del pensamiento científico: la génesis de los grandes principios de la ciencia moderna. Al lado de las cuatro grandes obras que ha publicado sucesivamente sobre este tema: la traducción comentada del primer libro cosmológico del De revolutionibus *de Copérnico*[1], *los* Etudes galiléennes[2], La révolution astronomique[3] *y* Du monde clos à l'univers infini[4], *esta colección de artículos merece, sin ninguna duda, un lugar destacado, no sólo por los numerosos elementos complementarios que aporta, sino también por las fecundas conexiones que permite establecer entre los diferentes ámbitos de la historia intelectual y por las valiosas indicaciones que da sobre el método de investigación y de análisis de su autor. Este volumen merecía ser publicado sobre todo porque algunos textos así reagrupados habían quedado inéditos hasta ahora, al menos en lengua francesa, y porque la mayor parte de los otros habían llegado a ser muy difíciles de consultar.*

Estos artículos se han vuelto a clasificar siguiendo el orden cronológico de sus temas, y no según sus fechas de redacción. Es cierto que, habida cuenta de algunas inevitables vueltas atrás, la línea general de las investigaciones de Alexandre Koyré

[1] N. Copérnico, *Des révolutions des orbes célestes*, introducción, traducción y notas de A. Koyré, París, Librairie Félix Alcan, 1934, VIII, 154 pp.

[2] A. Koyré, *Études galiléennes:* I. *A l'aube de la science classique;* II. *La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée;* III. *Galilée et la loi d'inertie*, París, Hermann, 1940, 3 fasc., 335 pp.

[3] A. Koyré, *La révolution astronomique. Copernic, Kepler, Borelli*, París, Hermann, 1961, 525 pp. («Histoire de la pensée», III.)

[4] A. Koyré, *Du monde clos a l'univers infini*, París, Presses Universitaires de France, 1962, 279 pp. (trad. francesa de *From the clossed world to the infinite universe*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1957).

ha seguido este mismo plan cronológico partiendo de la ciencia escolástica hasta llegar a Newton. Excepto los artículos relativos al autor de los Principia, *que están reservados a un volumen especial de* Etudes newtoniennes, *esta colección comprende en realidad tres grandes partes consagradas respectivamente a la ciencia de la Edad Media y del Renacimiento, a Galileo y a la obra de algunos otros sabios eminentes de la primera mitad del siglo XVII (Mersenne, Cavalieri, Gassendi, Riccioli, Pascal)*[5]. *Aparte de unas pequeñas correcciones de orden tipográfico, y de la introducción de llamadas interiores al volumen, el texto de los artículos reproducidos está exactamente de acuerdo con el de los originales: las traducciones han sido realizadas con la preocupación constante de preservar a la vez el pensamiento de Alexandre Koyré y su modo habitual de expresión.*

Al mismo tiempo que reagrupa un conjunto de estudios del más alto interés sobre los orígenes y la génesis de la ciencia moderna, este volumen aporta una viva lección de método de investigación histórica. Varios textos particularmente reveladores de los principios directivos de la obra de Koyré se encuentran aquí, en efecto, reproducidos. El que abre la colección es notablemente claro y explícito. El autor insiste en él, en primer lugar, sobre su «convicción de la unidad del pensamiento humano, particularmente en sus formas más elevadas» (pensamiento filosófico, pensamiento religioso y pensamiento científico), convicción que explica en gran parte la evolución de sus investigaciones[6]. *Si habiendo abordado el estudio de los orígenes de la ciencia moderna, pasa sucesivamente de la astronomía a la física y a las matemáticas, continuará ligando la evolución del pensamiento científico a la de las ideas* transcientíficas, *filosóficas, metafísicas, religiosas. Las cuatro obras citadas anteriormente y la mayor parte de los artículos reproducidos en este volumen son el fruto de este notable esfuerzo de análisis y de interpretación de una de las más importantes revoluciones de la historia intelectual de la humanidad. Con el fin de «captar el camino seguido por este pensamiento (científico), en el movimiento mismo de su actividad creadora», es indispensable volverlo a colocar, tan fielmente como sea posible, en el marco de su época y analizarlo en toda su compleji-*

[5] Excepto, por supuesto, el primero y último artículo, en los que Alexandre Koyré presenta las ideas directrices de su obra.

[6] Véase en particular a este respecto el importante estudio de Y. Belaval (*Critique*, agosto-septiembre de 1964, pp. 675-704).

dad, con sus incertidumbres, sus errores y sus fracasos. Los artículos que siguen ilustran del modo más convincente el cuidado con que Alexandre Koyré ha sabido poner en práctica sus propias reglas de pensamiento, bien con motivo de estudios de síntesis donde se esfuerza por poner de manifiesto las grandes líneas de su obra, el clima científico de una época o la influencia de las ideas filosóficas, o bien con motivo de artículos más técnicos donde estudia cuestiones precisas apoyándose en numerosas citas.

Por esta admirable lección de método que nos da, tanto como por la riqueza de su contenido, esta nueva obra de Alexandre Koyré merece ser leída y meditada por los especialistas en historia del pensamiento científico y, de un modo mucho más general, por todos los que se interesan por la historia de las ideas.

René Taton

ORIENTACIÓN Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN *

Desde el comienzo de mis investigaciones, he estado inspirado por la convicción de la unidad del pensamiento humano, particularmente en sus formas más elevadas; me ha parecido imposible separar, en compartimentos estancos, la historia del pensamiento filosófico y la del pensamiento religioso del que está impregnado siempre el primero, bien para inspirarse en él, bien para oponerse a él.

Esta convicción, transformada en principio de investigación, se ha mostrado fecunda para la intelección del pensamiento medieval y moderno, incluso en el caso de una filosofía en apariencia tan desprovista de preocupaciones religiosas como la de Spinoza. Pero había que ir más lejos. He tenido que convencerme rápidamente de que del mismo modo era imposible olvidar el estudio de la estructura del pensamiento científico.

La influencia del pensamiento científico y de la visión del mundo que él determina no está sólo presente en sistemas —tales como los de Descartes o Leibniz— que abiertamente se apoyan en la ciencia, sino también en doctrinas —tales como las doctrinas místicas— aparentemente ajenas a toda preocupación de este género. El pensamiento, cuando se formula como sistema, implica una imagen o, mejor dicho, una concepción del mundo, y se sitúa con relación a ella: la mística de Boehme es rigurosamente incomprensible sin referencia a la nueva cosmología creada por Copérnico.

Estas consideraciones me han llevado o, mejor dicho, me han vuelto a llevar, al estudio del pensamiento científico. Me he ocupado en primer lugar de la historia de la astronomía; después, mis investigaciones han tenido por objeto el campo de la historia de la física y de las matemáticas. La unión cada vez más estrecha que se establece, en los comienzos de los tiempos

* Tomado de un *curriculum vitae* redactado por A. Koyré en febrero de 1951.

modernos, entre la *physica coelestis* y la *physica terrestris*, es el origen de la ciencia moderna.

La evolución del pensamiento científico, al menos en el período que yo estudiaba entonces, no formaba, tampoco, una serie independiente, sino que, al contrario, estaba muy estrechamente ligada a la de las ideas *transcientíficas*, filosóficas, metafísicas y religiosas.

La astronomía de Copérnico no aporta solamente una nueva combinación más económica de los «círculos», sino una nueva imagen del mundo y un nuevo sentimiento del ser: el paso del Sol al centro del mundo expresa el renacimiento de la metafísica de la luz, y eleva a la Tierra a la categoría de los astros; *Terra est stella nobilis*, había dicho Nicolás de Cusa. La obra de Kepler procede de una concepción nueva del orden cósmico, fundada ella misma en la renovada idea de un Dios geómetra, y es la unión de la teología cristiana con el pensamiento de Proclo lo que permite al gran astrónomo liberarse de la obsesión de la circularidad que había dominado el pensamiento antiguo y medieval (incluso el de Copérnico); pero es también esta misma visión cosmológica la que le hace rechazar la intuición genial, pero científicamente prematura, de Giordano Bruno y le encierra en los límites de un mundo de estructura finita. No se comprende verdaderamente la obra del astrónomo ni la del matemático si no se la ve imbuida del pensamiento del filósofo y del teólogo.

La revolución metodológica llevada a cabo por Descartes procede también de una concepción nueva del saber; a través de la intuición de la infinitud divina, Descartes llega a su gran descubrimiento del carácter positivo de la noción de *infinito* que domina su lógica y su matemática. Por último, la idea filosófica —y teológica— de lo *posible*, intermediaria entre el ser y la nada, permitirá a Leibniz hacer caso omiso de los escrúpulos que habían detenido a Pascal.

El fruto de estas investigaciones, llevadas paralelamente con mi enseñanza en la Ecole Pratique des Hautes Etudes, ha sido la publicación, en 1933, de un estudio sobre Paracelso y de otro sobre Copérnico, seguidos, en 1934, de una edición, con introducción, traducción y notas, del primer libro cosmológico del *De revolutionibus orbium coelestium*, y, en 1940, de los *Etudes galiléennes*. He intentado analizar, en esta última obra, la revolución científica del siglo XVII, fuente y resultado a la vez de una profunda transformación espiritual que ha cambiado no sólo el contenido, sino incluso el marco de nuestro pensamiento: la sustitución del cosmos finito y jerárquicamente or-

denado del pensamiento antiguo y medieval por un universo infinito y homogéneo, implica y exige la reestructuración de los primeros principios de la razón filosófica y científica, la reestructuración también de nociones fundamentales, como las de movimiento, espacio, saber y ser. Por eso el descubrimiento de leyes muy simples, como la ley de la caída de los cuerpos, ha costado a genios importantísimos esfuerzos tan grandes que no siempre han sido coronados por el éxito. Así, la noción de inercia, tan manifiestamente absurda para la Antigüedad y la Edad Media, como plausible e incluso evidente para nosotros hoy, no pudo ser puesta de manifiesto con todo su rigor ni siquiera a través del pensamiento de un Galileo, y sólo lo fue por Descartes.

Durante la guerra, absorbido por otras tareas, no pude consagrar tanto tiempo como hubiera deseado a los trabajos teóricos. Pero, desde 1945, he empezado una serie de nuevas investigaciones sobre la formación, a partir de Kepler, de la gran síntesis newtoniana. Estas investigaciones constituirán el resto de mis trabajos sobre la obra de Galileo.

El estudio del pensamiento religioso y filosófico de los grandes protagonistas del matematismo experimental, de los precursores y contemporáneos de Newton y del mismo Newton se reveló indispensable para la interpretación completa de este movimiento. Las concepciones filosóficas de Newton relativas al papel de las matemáticas y de la medida exacta en la constitución del saber científico fueron tan importantes para el éxito de su empresa como su genio matemático: no es por falta de habitualidad experimental, sino como consecuencia de la insuficiencia de su filosofía de la ciencia —tomada de Bacon— por lo que Boyle y Hooke fracasaron ante los problemas de óptica, y son profundas divergencias filosóficas las que han alimentado la oposición de Huygens y de Leibniz a Newton.

He abordado algunos aspectos de estas investigaciones en mis clases de la Universidad de Chicago, en conferencias en las universidades de Estrasburgo y Bruselas, Yale y Harvard, y en las ponencias presentadas en el Congreso de Historia y de Filosofía de las Ciencias (París, 1949) y en el Congreso Internacional de Historia de las Ciencias (Amsterdam, 1950). Por otro lado, en mis conferencias en la VI Sección de la Ecole Pratique des Hautes Etudes he estudiado problemas del mismo orden: la transición del «mundo del poco más o menos» al «universo de la precisión»; la elaboración de la noción y las técnicas de medición exacta; la creación de instrumentos científicos que han hecho posible el paso de la experiencia cualitativa a la experi-

mentación cuantitativa de la ciencia clásica, y, por último, los orígenes del cálculo infinitesimal.

La historia del pensamiento científico, tal como yo la entiendo y me esfuerzo en practicarla, tiende a captar el camino seguido por este pensamiento en el movimiento mismo de su actividad creadora. Con este fin, es necesario colocar de nuevo las obras estudiadas en su medio intelectual y espiritual, interpretarlas en función de las costumbres mentales, de las preferencias y aversiones de sus autores. Hay que resistir a la tentación, a la que sucumben demasiados historiadores de las ciencias, de hacer más accesible el pensamiento con frecuencia oscuro, torpe e incluso confuso de los antiguos, traduciéndolo a un lenguaje moderno que lo clarifica, pero al mismo tiempo lo deforma; por el contrario, nada es más instructivo que el estudio de las demostraciones de un mismo teorema dadas por Arquímedes y Cavalieri, Roberval y Barrow.

También es completamente esencial integrar en la historia de un pensamiento científico la forma en que él mismo se situaba y comprendía con relación a lo que le precedía y acompañaba. No podríamos subestimar el interés de las polémicas de un Guldin o de un Tacquet contra Cavalieri o Torricelli; sería peligroso no estudiar de cerca la manera en la que un Wallis, un Newton o un Leibniz consideraban la historia de sus propios descubrimientos, u olvidar las discusiones filosóficas que estos descubrimientos provocaron.

Por último, hay que estudiar los errores y lós fracasos con tanto cuidado como los triunfos. Los errores de un Descartes o un Galileo, los fracasos de un Boyle o de un Hooke, no son solamente instructivos; son reveladores de las dificultades que ha sido necesario vencer, de los obstáculos que ha habido que superar.

Habiendo vivido nosotros mismos dos o tres crisis profundas en nuestro modo de pensar —«la crisis de los fundamentos» y «el eclipse de los absolutos» matemáticos, la revolución relativista, la revolución cuántica—, habiendo sufrido la destrucción de nuestras ideas antiguas y habiendo hecho el esfuerzo de adaptación a las ideas nuevas, estamos más capacitados que nuestros predecesores para comprender las crisis y las polémicas de antaño.

Creo que nuestra época es particularmente favorable a investigaciones de este tipo y a una enseñanza consagrada a ellas bajo el título de *Historia del pensamiento científico*. Ya no vivimos en el mundo de las ideas de un Newton, ni siquiera de Maxwell, y por esto somos capaces de considerarlas a la vez desde

dentro y desde fuera, de analizar sus estructuras, de ver las causas de sus fallos, al igual que estamos mejor equipados para comprender el sentido de las especulaciones medievales sobre la composición del continuo y la «latitud de las formas», y la evolución de la estructura del pensamiento matemático y físico a lo largo del último siglo en su esfuerzo de creación de formas nuevas de razonamiento y su vuelta crítica a los fundamentos intuitivos, lógicos y axiomáticos de su validez.

Por ello mi intención no es limitarme solamente al estudio del siglo XVII; la historia de esta gran época debe esclarecer los períodos más recientes y los temas que trataría estarían caracterizados, pero no agotados, por los temas siguientes:

El sistema newtoniano; el completo desarrollo y la interpretación filosófica del pensamiento newtoniano (hasta Kant y por Kant).

La síntesis maxwelliana y la historia de la teoría del campo.

Los orígenes y los fundamentos filosóficos del cálculo de probabilidades.

La noción de infinito y los problemas de los fundamentos de las matemáticas.

Las raíces filosóficas de la ciencia moderna y las interpretaciones recientes del conocimiento científico (positivismo, neokantismo, formalismo, neorrealismo y platonismo).

Yo creo que, realizadas según el método que he esbozado, estas investigaciones proyectarían una viva luz sobre la estructura de los grandes sistemas filosóficos de los siglos XVIII y XIX —todos los cuales se determinan en relación al saber científico, ya para integrarlo, ya para trascenderlo—, que nos permitirían comprender mejor la revolución filosófico-científica de nuestro tiempo.

EL PENSAMIENTO MODERNO *

¿Qué son los tiempos modernos y el pensamiento moderno? Antiguamente se sabía muy bien: los tiempos modernos comenzaban al final de la Edad Media, concretamente en 1453; y el pensamiento moderno comenzaba con Bacon, quien al fin había opuesto al razonamiento escolástico los derechos de la experiencia y de la sana razón humana.

Era muy simple. Por desgracia, era completamente falso. La historia no obra por saltos bruscos; y las netas divisiones en períodos y épocas no existen más que en los manuales escolares. Una vez que se empiezan a analizar las cosas un poco más de cerca, la ruptura que se creía ver al principio, desaparece; los contornos se difuminan, y una serie de gradaciones insensibles nos lleva de Francis Bacon a su homónimo del siglo XII, y los trabajos de historiadores y eruditos del siglo XX nos han hecho ver sucesivamente en Roger Bacon un hombre moderno, y en su célebre homónimo, un rezagado; han «vuelto a colocar» a Descartes en la tradición escolástica y han hecho comenzar la filosofía «moderna» en Santo Tomás. El término «moderno», ¿tiene en general algún sentido? Siempre se es moderno, en toda época, desde el momento en que uno piensa poco más o menos como sus contemporáneos y de forma un poco distinta que sus maestros... *Nos moderni*, decía ya Roger Bacon... ¿No es en general vano querer establecer en la continuidad del devenir histórico unas divisiones cualesquiera? La discontinuidad que con ello se introduce, ¿no es artificial y falsa?

Sin embargo, no hay que abusar del argumento de la continuidad. Los cambios imperceptibles desembocan en una diversidad muy clara; de la semilla al árbol no hay saltos; y la continuidad del espectro no hace sus colores menos diversos. Es cierto que la historia de la evolución espiritual de la humanidad

* Artículo aparecido en la revista *Le Livre*, París, 4.° año, *nouvelle série*, mayo de 1930, núm. 1, pp. 1-4.

presenta una complejidad incompatible con las divisiones tajantes; corrientes de pensamiento se prosiguen durante siglos, se enmarañan, se entrecruzan. La cronología espiritual y la astronómica no concuerdan. Descartes está lleno de concepciones medievales; alguno de nuestros contemporáneos es además contemporáneo espiritual de Santo Tomás.

Y, sin embargo, la división en períodos no es enteramente artificial. Poco importa que los límites cronológicos de los períodos sean vagos o incluso enmarañados; a una cierta distancia, *grosso modo*, las distinciones aparecen bien claras; y los hombres de una misma época tienen un cierto aire de familia. Cualesquiera que sean las divergencias —y son grandes— entre los hombres del siglo XIII y los del XIV, comparémosles con los hombres del siglo XVII, aunque sean muy diferentes entre ellos. Veremos inmediatamente que pertenecen a una misma familia; su «actitud», su «estilo», es el mismo. Y este estilo, este espíritu es distinto al de las gentes de los siglos XV y XVI. El *Zeitgeist* no es una quimera. Y si los «modernos» somos nosotros —y los que piensan poco más o menos como nosotros—, resulta que esta relatividad de lo moderno lleva consigo un cambio de la posición, con relación a los «modernos» de tal o cual período, de las instituciones y de los problemas del pasado. La historia no es inmutable. Cambia con nosotros. Bacon era moderno cuando «el estilo» del pensamiento era empirista; ya no lo es en una época de ciencia como la nuestra, cada vez más matemática. El primer filósofo moderno hoy es Descartes. Es por lo que cada período histórico, cada momento de la evolución, tiene que escribir de nuevo su historia y volver a buscar sus antepasados.

Y el estilo de nuestra época, tremendamente teórico, tremendamente práctico, pero también tremendamente histórico, marca con su sello la nueva empresa de Rey; y la colección de *Textes et traductions pour servir à l'histoire de la pensée moderne*, cuyos cuatro primeros volúmenes están ante mí, podría llamarse *Colección moderna*... Antiguamente (y hay todavía representantes rezagados de este estilo de pensamiento) se habría escrito un *Discurso* o una *Historia;* se nos habrían dado, a lo sumo, unos extractos; lo que se nos presenta son los textos mismos (los más señalados, los más significativos), elegidos ciertamente entre mucho otros, pero originales [1].

[1] *Textes et traductions pour servir a l'histoire de la pensée moderne*, colección dirigida por Abel Rey, profesor de la Sorbona: I. Petrarca, *Sur ma propre ignorance et celle de beaucoup d'autres*, traducción de

En un espíritu de eclecticismo loable —signo también del «estilo de nuestro tiempo» que no cree ya en separaciones demasiado netas y en divisiones demasiado tajantes—, los principios de la Edad Moderna están ilustrados por pensadores del Renacimiento e incluso prerrenacentistas. Petrarca, Maquiavelo, Nicolás de Cusa y Cesalpino nos enseñan los diferentes aspectos de esta revolución lenta pero profunda que marca el final, la muerte, de la Edad Media. Hay, sin duda, pocas cosas en común entre estos cuatro pensadores. Y ninguno de ellos es verdaderamente un moderno. Petrarca, no más que los otros. Y sus invectivas contra los aristotélicos, contra la lógica escolástica, su «humanismo», su «agustinismo» (cosa curiosa: a cada renovación del pensamiento, a cada reacción religiosa, a quien siempre se encuentra es a San Agustín), no deben hacernos perder de vista lo reaccionario que es en el fondo. Combate a Aristóteles, pero ¿cómo? Es contra el pagano contra quien lanza sus ataques. Trata de acabar con su autoridad, pero es para instaurar —o reinstaurar— en su lugar la ciencia y, sobre todo, la sabiduría *cristiana*, la autoridad de la revelación y de los libros sagrados. Lucha contra la lógica escolástica, pero en beneficio de Cicerón y de la lógica retórica, pues si admira a Platón es por fe, por espíritu de oposición, sin conocerlo. El preciado volumen que contiene dieciséis diálogos de Platón, de cuya posesión está tan orgulloso, ha sido para él siempre carta cerrada; no ha podido nunca leerlo. Todo lo que sabe de él se lo debe a Cicerón. Ahora bien, sin ninguna duda, hay más pensamiento filosófico en una página de Aristóteles que en todo Cicerón, y más agudeza y profundidad lógicas en el latín bárbaro de los maestros parisienses que en los bellos y bien ordenados períodos del propio Petrarca. Nunca una oposición ha estado peor dirigida, nunca una admiración más apasionada ha tenido un objeto más indigno. Desde el punto de vista del pensamiento filosófico, es una caída y un retroceso. Pero ahí está: este punto de vista es justamente inaplicable. Poco importa que la lógica escolástica sea sutil; poco importa que la filosofía de Aristóteles sea profunda. Petrarca no los quiere porque no los comprende, porque está harto de ellos, de su sutileza y su profundidad, y sobre todo de su tecnicismo. Petrarca —y sé bien de qué reservas habría que rodear esta afirmación un poco

J. Bertrand, prefacio de P. de Nolhac; II. Maquiavelo, *Le Prince,* traducción Colonna D'Istria, introducción de P. Hazard; III. Nicolás de Cusa, *De la docte ignorance,* traducción de L. Moulinier, introducción por A. Rey, IV. Cesalpino, *Questions péripatéticiennes,* traducción M. Dorolle.

brusca, pero bueno—, Petrarca y todo el humanismo, ¿no es en gran medida la rebelión de la simple sensatez, no en el sentido de *bona mens,* sino en el de sentido común?

Las complicadas demostraciones de la escolástica aristotelizante no le interesan; no son persuasivas. Ahora bien, ¿no es lo más importante persuadir? ¿Para qué podría servir el razonamiento sino para persuadir a aquél al que se dirige? Ahora bien, el silogismo tiene para este quehacer mucho menos valor que la retórica ciceroniana. Esta es eficaz porque es clara, porque no es técnica, porque se dirige al *hombre* y porque al hombre le habla de lo que más le importa: de él mismo, de la vida y de la virtud. Ahora bien, la virtud —y hay que poseerla y practicarla, si se quiere realizar el fin último del hombre que es la salvación— hay que amarla y no analizarla. Y los verdaderos filósofos, es decir, los verdaderos profesores de la virtud, no nos dan un curso de metafísica, no nos hablan de cosas ociosas, inciertas e inútiles: «tratan de hacer buenos a los que los escuchan... Pues vale más... formar una voluntad piadosa y buena que una clara y vasta inteligencia... Es más seguro querer el bien que conocer la verdad. Lo primero es siempre meritorio; lo otro es, con frecuencia, culpable y no admite excusas...». Vale más «amar a Dios... que... esforzarse por conocerle». En primer lugar, conocerle es imposible y, además, «el amor es siempre dichoso, mientras que el verdadero conocimiento es a veces doloroso...». No nos equivoquemos: a pesar de las citas de San Agustín, no es en absoluto la humildad cristiana la que habla por la pluma de Petrarca; y estas frases que podría firmar San Pedro Damiani no significan desconfianza respecto a la razón humana, como tampoco se trata de mística franciscana en la humillación de la inteligencia ante el amor. Se trata más bien de lo contrario; se trata de la sustitución del teocentrismo medieval por el punto de vista *humano;* de la sustitución del problema metafísico, y también del problema religioso, por el problema moral; del punto de vista de la salvación, por el de la acción. No es aún el nacimiento del pensamiento moderno; es ya la expresión de un hecho: que «el espíritu de la Edad Media» se agota y se muere.

La grandiosa obra del gran cardenal Nicolás de Cusa deja una impresión análoga. No es —apenas hay que decirlo— una reacción de la sensatez y del sentido común. Y el tecnicismo del lenguaje y de la lógica de la escolástica no tiene nada que pueda asustar a este magnífico constructor de sistemas. Pero le deja insatisfecho; no llega a su fin, que es, por supuesto, el de conocer a Dios. Nicolás de Cusa permanece fiel al ideal del

conocimiento. No lo sustituye por una doctrina de la acción. Quiere probar y no persuadir. Su lógica no es una lógica retórica. No es en absoluto escéptica —por más que se haya dicho— y la *docta ignorancia* es docta mucho más que ignorancia, pues *Deus melius* SCITUR *nesciendo.* En verdad son los viejos temas neoplatónicos los que reviven en su pensamiento y a través del maestro Eckhart, Juan Escoto Erígena, San Agustín y el Seudo-Dionisio lo que busca de nuevo este gran pensador es la inspiración de Plotino. Su obra se presenta como una reacción. Pero los movimientos hacia adelante, las reformas, se presentan siempre como renacimientos, como vueltas hacia atrás. Y a pesar de su deseo ardiente y sincero de limitarse a rehacer lo antiguo, el cardenal de Cusa hace una obra singularmente nueva y atrevida.

En ciertos aspectos es, efectivamente, el hombre de «la Edad Media». Es tan teocentrista como cualquiera, tan profundamente —y tan naturalmente— creyente y católico. Pero conoce demasiado la diversidad irremediable de los dogmas que dividen a la humanidad, y la idea de una religión natural —igualmente una vieja idea, pero ¿hay ideas enteramente nuevas?— opuesta a la relatividad de las formas de creencias, la idea que procurará lo esencial de la atmósfera espiritual de la época moderna, encuentra en él un partidario consciente y convencido.

Nos equivocaríamos, ciertamente, si viéramos cosas completamente nuevas en su matematismo. Las analogías matemáticas destinadas a esclarecer las relaciones interiores de la Trinidad, e incluso pruebas matemáticas de la imposibilidad de una cuatriunidad divina, así como la conveniencia de una Trinidad, son cosa común tanto en la escolástica latina como en la escolástica griega. Y el papel atribuido a consideraciones matemáticas es tradicional en la escuela agustiniana. El papel de la luz, la óptica geométrica de la que se ocupaban con tanto amor los neoplatónicos de Oxford y de otras partes —recordemos a Witelo y Thierry de Friburgo— hacían que una cierta matematización del universo fuera casi natural. Descartes, en realidad, fue el heredero de una tradición agustiniana en eso como en otras cosas. Ahora bien, por «modernas» que nos parezcan las concepciones del cardenal sobre el *máximo* y el *mínimo* que se confunden, sobre la recta y el círculo que coinciden en el *máximo* y el *mínimo*, no son razonamientos puramente matemáticos: es una teología lo que los sostiene. Y su lógica dialéctica no es aún una lógica hegeliana. Pero poco importa. El hecho que domina es que la vieja lógica lineal no actúa ya sobre él; que el viejo universo bien ordenado y bien jerarqui-

zado ya no es el suyo, que los marcos del pensamiento metafísico —forma y materia, acto y potencia— están para él vacíos de un contenido vivo. Su universo es a la vez más uno y menos determinado, más dinámico, más actual. El *possest* niega justamente esta distinción que fue durante siglos la base de una concepción teísta del universo. Y además otra cosa: por «mística» que sea su doctrina, el cardenal confiesa: no es más que una teoría, no tiene experiencia; habla de oídas, basándose en la experiencia de los demás.

Con Nicolás Maquiavelo estamos ante otro mundo completamente distinto. La Edad Media ha muerto; más aún, es como si nunca hubiera existido. Todos sus problemas: Dios, la salvación, las relaciones del más allá con este mundo, la justicia, el fundamento divino del poder, nada de todo esto existe para Maquiavelo. No hay más que una sola realidad, la del Estado; hay un hecho: el del poder. Y un problema: ¿cómo se afirma y se conserva el poder en el Estado? Ahora bien, para resolverlo no tenemos que preocuparnos por puntos de vista, juicios de valor, consideraciones de moralidad, de bien individual, etc., que verdaderamente, en buena lógica, no tienen nada que ver con nuestro problema. ¡Qué hermoso *Discurso del método* hay implícitamente en la obra del secretario florentino! ¡Qué hermoso tratado de lógica, pragmática, inductiva y deductiva a la vez, se puede sacar de esta magnífica obra!; tenemos ante nosotros a alguien que sabe ligar la experiencia con la razón —al contrario que F. Bacon—, y alguien que, anticipándose a los siglos, ve el caso más simple en el caso más general. Maquiavelo no aspira a una lógica nueva; simplemente, la pone en práctica. Y, comparable con esto a Descartes, supera así los marcos del silogismo: su análisis —como el análisis cartesiano— es constructivo, su deducción es sintética. La inmoralidad de Maquiavelo es pura lógica. Desde el punto de vista en que se coloca, la religión y la moral no son más que factores sociales. Son hechos que hay que saber utilizar, con los que hay que contar. Esto es todo. En un cálculo *político*, hay que tener en cuenta todos los factores *políticos*: ¿qué puede hacer un juicio de valor referido a la suma? ¿Desvirtuar subjetivamente sus resultados? ¿Inducirnos a error? Muy ciertamente, pero en absoluto modificar la suma.

Es una lógica y un método, como acabamos de decir, pero la posibilidad misma de adoptar —con este despego prodigioso y esta naturalidad sorprendente— esta actitud metódica, indica y expresa el hecho de que no solamente en el alma de Maquia-

velo, sino también alrededor de él, el mundo de la Edad Media estaba muerto, y bien muerto.

Pero no lo estaba en todas partes. Y no lejos de Florencia, en la célebre y antigua Universidad de Padua, el aristotelismo medieval —en su forma averroísta— llevaba aún una existencia artificial, que se prolongaría, sin embargo, hasta bien entrado el siglo XVII. Las *Cuestiones peripatéticas,* de Cesalpino, son un buen ejemplo de esta mentalidad. Y el estudio de esta obra —o de obras análogas como las de un Cremonini— nos enseña bien lo poderosas que eran las resistencias que tenían que vencer un Descartes, un Galileo, el «pensamiento moderno», hasta qué punto la imagen del mundo medieval y antiguo se había solidificado, «realizado» en la conciencia humana. Para Cesalpino, la duda no existe. La verdad está por completo en la obra de Aristóteles. Es ahí donde conviene buscarla. Y ciertamente, se puede a veces mejorar este o aquel detalle, corregir esta o aquella observación, fisiológica o física, pero permanece lo esencial: el marco de los conceptos metafísicos, el marco de las nociones físicas, toda la máquina del mundo y toda su jerarquía. Desde luego, Cesalpino es muy inteligente; sus análisis, sus comentarios, son agudos y penetrantes; sus distinciones, profundas. El estudio de estas *Cuestiones* es provechoso incluso hoy. Pero ya no hay vida en él, y el frío despego de Cesalpino, que deja a otros, dice, el cuidado de buscar si lo que explica es conforme o no a la fe y a la verdad cristiana, siendo su papel explicar a Aristóteles, es muy probablemente una máscara. Pero también es un signo de los tiempos: para ponerse esta máscara —y poder llevarla— había que sentir —tan oscuramente como se quiera— un cierto despego también por Aristóteles. Había que tomar más o menos la actitud de un profesor moderno, hacer la obra de un historiador. Ahora bien, lo que vive no es objeto de historia; nada está más lejos del hombre que busca la verdad viva que la actitud de un hombre que busca la verdad «histórica». Y lo quiera o no, incluso aunque no lo quiera en absoluto, la exactitud y agudeza de Cesalpino son ya casi las de un erudito. La pedantería ha sustituido al ingenio. La construcción es muy sólida aún; tiene una gran importancia; ya no hay vida en ella.

ARISTOTELISMO Y PLATONISMO EN LA FILOSOFÍA DE LA EDAD MEDIA *

La filosofía de la Edad Media es, en cierto modo, un descubrimiento recientísimo. Hasta hace relativamente pocos años, toda la Edad Media se representaba bajo los más sombríos colores: triste época en la que el espíritu humano, esclavizado por la autoridad —doble autoridad, del dogma y de Aristóteles—, se agotaba en discusiones estériles de problemas imaginarios. Aún hoy, el término «escolástica» tiene para nosotros un sentido peyorativo.

Sin duda, no todo es falso en este panorama. Tampoco es cierto todo. La Edad Media ha conocido una época de barbarie profunda, barbarie política, económica e intelectual —época que se extiende poco más o menos desde el siglo VI hasta el XI—; pero ha conocido también una época extraordinariamente fecunda, una época de vida intelectual y artística de una intensidad sin igual —que se extiende desde el siglo XI hasta el XIV (inclusive)—, a la que debemos, entre otras cosas, el arte gótico y la filosofía escolástica.

Ahora bien, la filosofía escolástica —lo sabemos ahora— ha sido algo muy grande. Son los escolásticos los que han llevado a cabo la educación filosófica de Europa y han creado la terminología de la que nos servimos aún; son ellos quienes con su trabajo han permitido a Occidente volver a tomar, o incluso, más exactamente, tomar contacto con la obra filosófica de la Antigüedad. Así, a pesar de las apariencias, hay una verdadera —y profunda— continuidad entre la filosofía medieval y la filosofía moderna. Descartes y Malebranche, Spinoza y Leibniz, muy a menudo no hacen más que continuar la obra de sus predecesores medievales.

En cuanto a los problemas ridículos y ociosos sobre los que discutían interminablemente los profesores y alumnos de las

* Artículo aparecido en *Les Gants du Ciel*, vol. VI, Ottawa, 1944, pp. 75-107.

Universidades de París, Oxford y El Cairo, ¿eran realmente más ridículos y ociosos que los que hoy discuten? Quizá los consideremos así porque no los comprendemos bien, es decir, porque ya no hablamos el mismo lenguaje y no vemos el alcance y las implicaciones de los problemas discutidos, ni el sentido voluntariamente paradójico, a menudo, de la forma bajo la cual se presentan.

Así, ¿hay algo más ridículo que preguntarse cuántos ángeles pueden colocarse en el extremo de una aguja? ¿O si el intelecto humano está situado en la Luna o en otro lugar? Sin duda. Pero sólo en tanto no se sabe o no se comprende lo que está en juego. Ahora bien, lo que está en juego es saber si el espíritu, si un ser o un acto espiritual —un juicio, por ejemplo— ocupa o no un *lugar* en el espacio... Y esto ya no es en absoluto ridículo. Lo mismo ocurre con el intelecto humano. Pues lo que está en juego en esta curiosa doctrina de los filósofos árabes es saber si el pensamiento —el verdadero pensamiento— es individual o no. Y si admiramos a Lichtenberg por haber afirmado que más valdría emplear una forma impersonal y no decir *pienso,* sino *piensa en mí;* si aceptamos o por lo menos discutimos las tesis durkheimianas sobre la conciencia colectiva a la vez inmanente y trascendente al individuo, no veo por qué —dejando a un lado la Luna— no tratar con todo el respeto que merecen las teorías de Avicena o Averroes sobre la unidad del intelecto humano.

La barbarie medieval, económica y política —tal como resulta de los excelentes trabajos del historiador belga Pirenne—, ha tenido como origen mucho menos la conquista del mundo romano por las tribus germánicas que la ruptura de las relaciones entre Oriente y Occidente, el mundo romano y el mundo griego. Y es la misma razón —la falta de relaciones con el oriente helénico— la que ha producido la barbarie intelectual de Occidente. Como es la reanudación de estas relaciones, es decir, la toma de contacto con el pensamiento antiguo, con la herencia griega, la que ha producido el desarrollo de la filosofía medieval. Ciertamente, en la época que nos ocupa, es decir, en la Edad Media, el Oriente —aparte de Bizancio— ya no era griego. Era árabe. Por eso son los árabes los que han sido los *maestros* y *educadores* del Occidente latino.

He subrayado *maestros* y *educadores*, y no sólo y simplemente, tal como se ha dicho muy a menudo, *intermediarios* entre el mundo griego y el latino. Pues si las primeras traducciones en latín de obras filosóficas y científicas griegas fueron

hechas, no directamente del griego, sino a través del árabe, no fue solamente porque no había ya, o no había aún, nadie en Occidente que supiera griego, sino también, y quizá sobre todo, porque no había nadie capaz de comprender libros tan difíciles como la *Física* o la *Metafísica*, de Aristóteles, o el *Almagesto*, de Tolomeo, y porque sin la ayuda de Fârâbî, Avicena o Averroes, los latinos no lo habrían conseguido nunca. Y es que no basta saber griego para comprender a Aristóteles o Platón —error frecuente entre los filósofos clásicos—; hay que saber, además, filosofía. Ahora bien, de esto los latinos no habían sabido nunca gran cosa. La Antigüedad latina pagana había ignorado la filosofía.

Es curioso constatar —e insisto en esto porque me parece algo de una importancia capital y, aunque conocido, no siempre señalado— la indiferencia casi total del romano por la ciencia y la filosofía. El romano se interesa por las cosas prácticas: la agricultura, la arquitectura, el arte de la guerra, la política, el derecho, la moral. Pero si se busca en toda la literatura latina clásica una obra científica digna de este nombre, no se encontrará; una obra filosófica, tampoco. Encontraremos a Plinio, es decir, un conjunto de anécdotas y comadreos de vieja; Séneca, es decir, la exposición concienzuda de la moral y de la física estoicas, adaptadas —es decir, simplificadas— al uso de los romanos; Cicerón, es decir, ensayos filosóficos de un literato aficionado, o Macrobio, un manual de escuela primaria.

Es verdaderamente asombroso, cuando se piensa en ello, que no produciendo ellos mismos nada, los romanos no hayan experimentado siquiera la necesidad de procurarse traducciones. En efecto, fuera de dos o tres diálogos traducidos por Cicerón (entre ellos, el *Timeo*) —de cuya traducción nada ha llegado a nosotros—, ni Platón, ni Aristóteles, ni Euclides, ni Arquímedes, han sido traducidos al latín. Por lo menos en la época clásica. Pues si el *Organon*, de Aristóteles, y las *Enéadas*, de Plotino, fueron traducidas, a fin de cuentas, no lo fueron hasta muy tarde y por cristianos [1].

Sin duda, se pueden invocar circunstancias atenuantes, explicar la indigencia de la literatura científica y filosófica romana por la gran difusión del griego: todo romano «bien na-

[1] Las *Enéadas* fueron traducidas en el siglo IV por Mario Victorino; el *Organon* en el siglo VI por Boecio. La traducción de Plotino se ha perdido, la de Aristóteles se ha perdido igualmente en gran parte: sólo las *Categorías* y los *Tópicos* fueron conocidos en la Alta Edad Media.

cido» aprendía griego, iba a estudiar a Grecia... Se sabía griego como antiguamente en Europa se sabía francés. No exageremos, sin embargo, el grado de esta difusión. La propia aristocracia romana no estaba totalmente «helenizada», o, por lo menos, excepto en círculos muy estrechos, no leía ni a Platón, ni a Aristóteles, ni siquiera los manuales estoicos; en efecto, para ella escribían Cicerón y Séneca.

Ahora bien, no es esto lo que ocurre en el mundo árabe. Apenas acabada la conquista política, el mundo árabe islámico se lanza con un ardor sorprendente a la conquista de la civilización, de la ciencia, de la filosofía griegas. Todas las obras científicas, todas las obras filosóficas, serán, bien traducidas, bien (en el caso de Platón) expuestas y parafraseadas.

El mundo árabe se siente y *se dice* heredero y continuador del mundo helénico. En lo que tiene mucha razón, pues la brillantez y rica civilización de la Edad Media árabe —que no es una Edad Media, sino más bien un Renacimiento— es, con toda verdad, continuadora y heredera de la civilización helénica[2]. Es por lo que ha podido desempeñar frente a la barbarie latina el eminente papel de educadora que ha tenido.

Sin duda, este florecer de la civilización árabe-islámica ha sido de muy corta duración. El mundo árabe, después de haber transmitido al Occidente latino la herencia clásica que había recogido, la ha perdido y repudiado.

Pero para explicar este hecho no es necesario invocar, como lo hacen muy a menudo los autores alemanes —e incluso franceses—, una repugnancia congénita del árabe por la filosofía, una oposición irreductible entre el espíritu griego y el espíritu semítico; una impenetrabilidad espiritual de Oriente para Occidente: se dicen muchos disparates sobre el tema Oriente-Occidente... Se pueden explicar las cosas de un modo mucho más sencillo, por la influencia de una reacción violenta de la ortodoxia islámica, la cual, no sin razón, reprochaba a la filosofía su actitud antirreligiosa, y sobre todo por el efecto devastador de las oleadas de invasiones bárbaras; turcos, mongoles (bereberes en España), arruinaron la civilización árabe y transformaron el Islam en una religión fanática, cruelmente hostil a la filosofía.

Es probable que, sin esta última «influencia», la filosofía árabe hubiera proseguido un desarrollo análogo al de la escolástica latina, que los pensadores árabes hubieran sabido en-

[2] Cf. R. Merz, *Renaissance im Islam*, Basilea, 1914.

contrar respuestas a las críticas de Algazel (al-Ghāzāli), hubieran sabido «islamizar» a Aristóteles... No tuvieron tiempo. Los sables turcos y bereberes pararon brutalmente el movimiento y fue al Occidente latino al que incumbió la labor de recoger la herencia árabe conjuntamente con la herencia griega que los árabes le habían transmitido.

Acabo de insistir en la importancia y el papel de la herencia antigua. Ocurre que la filosofía, por lo menos nuestra filosofía, está vinculada por entero a la filosofía griega, sigue las líneas trazadas por la filosofía griega, realiza actitudes previstas por ésta.

Sus problemas son siempre los problemas del saber y del ser planteados por los griegos. Siempre la misma exhortación délfica a Sócrates, Γνῶθι σεαυτόν, conócete a ti mismo, responde a las preguntas ¿qué soy?, ¿dónde estoy?, es decir, ¿qué es ser?, ¿qué es el mundo? y, finalmente, ¿qué hago? y ¿qué debo hacer yo en este mundo?

Y según se dé a estas preguntas una u otra respuesta, según se adopte una u otra actitud, se es platónico, aristotélico o incluso plotiniano. A menos que se sea estoico o escéptico.

En la filosofía de la Edad Media —puesto que filosofía es— encontramos fácilmente las actitudes que acabo de mencionar. Y, sin embargo, generalmente hablando, la situación de la filosofía medieval —y, por supuesto, la del filósofo— son bastante diferentes de la de la filosofía antigua.

La filosofía medieval —aunque se trate de la filosofía cristiana, judía o islámica— se sitúa, en efecto, dentro de una religión revelada. El filósofo, salvo alguna excepción, especialmente la del averroísta, es *creyente*. Por eso, ciertos problemas para él están resueltos por anticipado. De este modo, tal como dice muy oportunamente Gilson[3], el filósofo antiguo puede preguntarse si hay *dioses* y *cuántos* hay. En la Edad Media —y gracias a la Edad Media ocurre lo mismo en la época moderna— ya no se pueden plantear cuestiones parecidas. Podemos, sin duda, preguntarnos si Dios existe, más exactamente, podemos preguntarnos cómo se puede demostrar su existencia. Pero la pluralidad de dioses ya no tiene ningún sentido: todo el mundo sabe que Dios —exista o no— sólo puede ser único. Además, mientras que Platón o Aristóteles se forman libremente su concepción de Dios, el filósofo medieval sabe, generalmente

[3] Cf. E. Gilson, *L'esprit de la philosophie médiévale*, 2 vols., París, 1932.

hablando, que su Dios es un Dios *creador*, concepción muy difícil o quizá incluso imposible de captar por la filosofía [4].

Sabe además sobre Dios, sobre él mismo, sobre el mundo, sobre su destino, muchas otras cosas que le enseña la religión. Sabe, por lo menos, que las enseña. Frente a esta enseñanza necesita tomar partido. Necesita además, frente a la religión, justificar su actividad *filosófica;* y, por otro lado, necesita, frente a la filosofía, justificar la existencia de la religión [5].

Esto crea, evidentemente, una situación tensa y complicada en extremo. Afortunadamente, además, pues son esta tensión y esta complicación en las relaciones entre la filosofía y la religión, la razón y la fe, las que han alimentado el desarrollo filosófico de Occidente.

Y, sin embargo, a pesar de esta situación completamente nueva, en el momento en que un filósofo —ya sea judío, musulmán o cristiano— aborda el problema central de la metafísica, el del Ser y el de la esencia del Ser, encuentra en su Dios creador el Dios-Bien de Platón, el Dios-Pensamiento de Aristóteles, el Dios-Uno de Plotino.

La filosofía medieval se nos presenta la mayor parte de las veces como si estuviera dominada completamente por la autoridad de Aristóteles. Sin duda es verdad, pero sólo para un período determinado [6]. Y la razón de ello es bastante fácil de comprender.

En primer lugar, Aristóteles fue el único filósofo griego cuya obra completa —por lo menos toda la que se conocía en la Antigüedad— fue traducida al árabe y más tarde al latín. La de Platón no tuvo este honor, y fue, por tanto, menos conocida.

Esto tampoco es resultado de la casualidad. La obra de Aristóteles forma una verdadera enciclopedia del saber humano. Excepto medicina y matemáticas, encontramos en ella de todo: lógica —lo cual es de una importancia capital—, física, astronomía, metafísica, ciencias naturales, psicología, ética, política... No es asombroso que para la segunda Edad Media deslumbrada y aplastada por esta masa de saber, subyugada por

[4] Por eso es negada por aquellos filósofos medievales que han mantenido fidelísimamente la exigencia por la filosofía de la supremacía y la autocracia, es decir, por los averroístas.

[5] Cf. Leo Strauss, *Philosophie und Gesetz*, Berlín, 1935.

[6] *Grosso modo*, a partir de la segunda mitad del siglo XIII.

esta inteligencia verdaderamente fuera de lo común, Aristóteles se convirtiera en el representante de la verdad, la cima y perfección de la naturaleza humana, el príncipe *di color che sanno,* como dirá Dante. El príncipe de los que saben. Y, sobre todo, de los que enseñan. Pues Aristóteles, además, es una ganga para el profesor. Aristóteles enseña y se enseña; se discute y se comenta.

Por eso no es extraño que, una vez introducido en las escuelas, arraigara en ellas inmediatamente —además, en cuanto autor de la lógica, estaba en ellas ya desde siempre— y que ninguna fuerza humana haya podido expulsarlo de ellas. Las prohibiciones, las condenas, fueron letra muerta. No se podía quitar Aristóteles a los profesores sin darles otra cosa en su lugar. Ahora bien, hasta Descartes no había nada, absolutamente nada, que darles.

Platón, en cambio, se enseña mal. La forma dialogada no es una forma escolar. Su pensamiento es sinuoso, difícil de captar y a menudo *presupone* un saber científico considerable y, por tanto, bastante poco extendido. Por eso, sin duda, desde el final de la Antigüedad clásica, Platón ya no se estudia excepto en la academia. Donde, además, es menos estudiado que interpretado. Es decir, transformado.

Por todas partes, el manual sustituye al texto. El manual —como nuestros manuales— bastante ecléctico, sincretista, inspirado sobre todo en el estoicismo y el neoplatonismo. Por eso en la tradición histórica, Platón aparece de alguna manera neoplatonizado. No solamente entre los árabes, que muy a menudo le confunden con Plotino, sino también entre los latinos e incluso entre los griegos que le ven a través de los comentarios o los manuales neoplatónicos. Lo mismo ocurre, por otro lado, en lo que concierne a Aristóteles.

Y, sin embargo, a través de los escritos neoplatónicos, a través de Cicerón, Boecio, Ibn Gabirol (Avencebrol) y sobre todo y ante todo a través de la obra grandiosa y magnífica de San Agustín, subsisten ciertos temas, ciertas doctrinas, ciertas actitudes, las cuales, sin duda, traspuestas y transformadas por el marco religioso en el que se insertan, persisten y nos permiten hablar de un platonismo medieval. E incluso afirmar que este platonismo que ha inspirado el pensamiento medieval latino en los siglos XI y XII no ha desaparecido con la llegada triunfal de Aristóteles a las escuelas [7]. En efecto, el mayor aris-

[7] El contenido platonizante de las doctrinas se disimula a veces —para nosotros— con el revestimiento de una terminología aristotelizante.

totélico cristiano, Santo Tomás, y el mayor platónico, San Buenaventura, son exactamente contemporáneos.

Acabo de decir que la Edad Media conocía a Platón sobre todo de segunda mano. Sobre todo..., pero no únicamente. Pues si el *Menón* y el *Fedón*, traducidos a lo largo del siglo XII, permanecieron casi desconocidos, en cambio, el *Timeo*, traducido y provisto de un largo comentario por Calcidio (en el siglo IV) estaba en todas las manos.

El *Timeo* es la historia —o, si se prefiere, el mito— de la creación del mundo. Platón cuenta en él cómo el Demiurgo, o el Dios supremo, después de haber formado en un cráter una mezcla de lo *Mismo* y de lo *Otro* —lo que quiere decir, en este caso, de lo permanente y lo cambiante— forma con ello el Alma del Mundo, que perdura y es móvil a la vez, los dos círculos de lo Mismo y de lo Otro (es decir, los círculos del Zodíaco y de la Eclíptica) que, por sus revoluciones circulares, determinan los movimientos del mundo sublunar. Los dioses inferiores, los dioses astrales, las almas, se forman con lo que queda. A continuación, cortando en el espacio pequeños triángulos, Dios forma con ellos cuerpos elementales, y de estos elementos, los cuerpos reales, las plantas, los animales, el hombre, siendo ayudado en su trabajo por los dioses inferiores.

Curiosa mezcla de cosmogonía mística y de mecánica celeste, de teología y de física matemática... La obra tuvo una fama considerable; las bibliotecas europeas están llenas de manuscritos y de comentarios inéditos del *Timeo*[8]. Inspiró la enseñanza de la Escuela de Chartres, poemas, enciclopedias medievales, obras de arte. Sin duda, la noción de dioses inferiores era chocante, pero bastaba con sustituirlos por ángeles para hacer el *Timeo* aceptable.

En Oriente, la fama del *Timeo* fue tan grande como lo fue en Occidente. Inspiró notablemente, tal como lo ha mostrado recientemente Kraus[9], una buena parte de la alquimia árabe. Así, por ejemplo, la doctrina de la transformación de los metales de Yabir —que nosotros llamamos Geber— está fundada toda ella en el atomismo matemático del *Timeo*. Los alquimistas se afanan por calcular los pesos específicos de los metales basándose en consideraciones visiblemente inspiradas en la obra

[8] Cf. R. Klibansky, *The continuity of the Platonic tradition*, Londres, 1939.

[9] Cf. Paul Kraus, *Jâbir et les origines de l'alchimie arabe*, El Cairo (Mémoires de l'Institut d'Egypte), 1942.

de Platón. Con poco éxito, seguramente. Pero no era culpa suya. La idea era buena. Nos damos cuenta de ello hoy.

El *Timeo* no contiene, sin duda, todo el platonismo. Presenta, sin embargo, algunas de sus doctrinas fundamentales; la de las Ideas-Formas sobre todo, así como la noción de la separación del mundo sensible y del mundo inteligible: en efecto, el Demiurgo construye nuestro mundo inspirándose en modelos eternos. Al mismo tiempo, el *Timeo* ofrece un intento de solución —por la acción divina— del problema de las relaciones entre las ideas y la realidad sensible. Es comprensible que los filósofos medievales hayan visto en él una doctrina muy aceptable y muy compatible con la noción de Dios-Creador. Se puede decir incluso a la inversa que la noción de Dios-Creador se enriquece y se precisa, gracias al *Timeo*, con la de un plan ideal preconcebido por él desde toda la eternidad.

El mundo árabe —sin conocerlo muy bien— conoció, de todos modos, a Platón mucho mejor de lo que pudieron conocerlo los latinos. Conocía en particular la doctrina política. Tal como lo ha mostrado bien Strauss [10], desde al-Fārābī, el peor conocido, pero quizá el mejor filósofo del Islam, la doctrina política de Platón ocupa un lugar importante en el pensamiento árabe.

La doctrina política de Platón culmina, es bien sabido, en la doble idea de la Ciudad ideal y del Jefe ideal de la Ciudad, el rey-filósofo que contempla la idea del Bien, las esencias eternas del mundo inteligible y hace reinar la ley del Bien en la Ciudad. En la transposición farabiana, la Ciudad ideal se convierte en la Ciudad del Islam; el lugar del rey filósofo es ocupado por el profeta. Esto está ya bastante claro en al-Fārābī. Está, si es posible, todavía más claro en Avicena, quien describe al profeta —o al Imán—— como el rey filósofo, el *Político* de Platón. Nada falta en él, ni siquiera el mito de la caverna a donde regresa el vidente. El profeta, el rey-filósofo —y ahí es donde está su superioridad respecto al simple filósofo— es el hombre de acción, que sabe —de lo cual no es capaz el simple filósofo— traducir la intuición intelectual en términos de imaginación y de mito, en términos accesibles a la mayoría de los mortales. El profeta —el rey filósofo— es, pues, el legislador de la Ciudad; el filósofo no sabe más que interpretar la ley del profeta y descubrir su sentido filosófico; es esto lo que explica en último término, la concordancia del pensamiento filosófico y de la ley... bien comprendida.

[10] *Op. cit.*

Curiosa utilización de la doctrina de Platón en favor de la autocracia del comendador de los creyentes. Pero, lo que es más curioso aún, la utilización teológico-política del platonismo no se detiene ahí: la profetología de Avicena va a ser utilizada a su vez para apoyar las pretensiones del papado a la teocracia universal; y el monje franciscano Roger Bacon va a copiar fríamente a Avicena aplicando con toda tranquilidad al Papa lo que aquél nos dice del Imán. Esto, sin embargo, queda como caso aislado y —al lado del derecho romano y de Cicerón— es Aristóteles quien educa políticamente a Europa.

La utilización de la *República*, de Platón, por los pensadores políticos del Islam, y la de la *Política*, de Aristóteles, por los de Europa, es un hecho extremadamente curioso y lleno de consecuencias importantes; examinarlo nos llevaría demasiado lejos[11]. Además, no me he propuesto examinar aquí el aristotelismo y el platonismo como doctrinas políticas, sino como doctrinas o actitudes metafísicas y morales.

La atracción ejercida por el platonismo —o el neoplatonismo— sobre un pensamiento religioso, es evidente. ¿Cómo no reconocer, en efecto, la inspiración profundamente religiosa de Platón? ¿Cómo no ver en su Dios que *nec fallit nec fallitur*, su Dios que es el mismo Bien trascendente, es decir, el Demiurgo que forma el Universo para el bien y que, a decir verdad, no crea más que el bien; cómo no ver en él algo análogo al Dios de las religiones de la Biblia? El tema del alma naturalmente cristiana —o islámica—, tema constante entre los pensadores de la Edad Media, ¿puede encontrar una prueba más bella que el ejemplo de Platón?

En cuanto a Plotino, ¿cómo un alma mística podría dejar de tratar de identificar al Dios trascendente de la religión con el Uno, trascendente al Ser y al Pensamiento, del último de los grandes filósofos griegos? Por ello, todos los misticismos, desde el momento en que se hacen especulativos, desde el momento en que quieren pensarse y no sólo vivirse, se vuelven naturalmente e incluso inevitablemente hacia Plotino.

Fue mediante la lectura de libros platónicos como San Agustín fue llevado hasta Dios. Fue en estos libros, tal como nos lo cuenta él mismo en páginas inolvidables, donde su alma atormentada e inquieta, conmovida por el espectáculo del mal reinante en el mundo hasta el punto de admitir la existencia de un Dios del mal, de un dios malvado al lado de un Dios bueno,

[11] Cf. G. de Lagarde, *La naissance de l'esprit laïque au déclin du Moyen Age*, 2 vols., Saint-Paul-Trois-Châteaux, 1934.

aprendió que no hay más que un solo Dios. Fueron los platónicos los que enseñaron a San Agustín que Dios es el mismo Bien creador, fuente inagotable de perfección y de belleza. El Dios de los platónicos —el mismo según San Agustín que el de la religión cristiana— es el bien que, sin saberlo, buscó siempre su corazón angustiado: el bien del alma, el único bien eterno e inmutable, el único que vale la pena de ser perseguido.

«¿Qué es todo aquello que no es eterno?», repite San Agustín, y el eco de sus palabras no será nunca olvidado en Occidente. Quince siglos más tarde, otro pensador, violentamente antibíblico, Spinoza, nos hablará todavía de Dios, único bien cuya posesión llena el alma de felicidad eterna e inmutable.

El *alma*: he aquí la palabra clave de los platónicos, y toda filosofía platoniana está siempre finalmente centrada en el alma. Inversamente, toda filosofía centrada en el alma es siempre una filosofía platónica.

El platónico medieval está, en cierto modo, deslumbrado por su alma, por el hecho de tener una, o más exactamente, por el hecho de *ser* un alma. Y cuando, siguiendo el precepto socrático, el platónico medieval busca el conocimiento de sí mismo, lo que busca es el conocimiento de su alma, y es en el conocimiento de su alma donde encuentra su felicidad.

El alma para el platónico medieval es algo hasta tal punto más elevado y perfecto que el resto del mundo que, a decir verdad, con este resto no tiene nada en común. Por eso no es hacia el mundo y su estudio hacia donde debe volverse el filósofo, sino hacia el alma. Pues es ahí, en el interior del alma, donde habita la verdad.

Entra en tu alma, en tu fuero interno, nos ordena San Agustín. Y son poco más o menos los mismos términos que encontramos en el siglo XI bajo la pluma de San Anselmo, como dos siglos después bajo la de San Buenaventura.

La verdad habita en el interior del alma —se reconoce la enseñanza de Platón—; pero la verdad para el platónico medieval es Dios mismo, verdad eterna y fuente de toda verdad, sol y luz del mundo inteligible: un texto, una imagen platónica que se repiten constantemente en la filosofía medieval y que permiten sin duda alguna revelar el espíritu y la inspiración de Platón.

La verdad es Dios; es, pues, Dios mismo quien habita en nuestra alma, más cerca del alma de lo que lo estamos nosotros mismos. Por eso se comprende el deseo del platónico medieval de conocer su alma, pues conocer su alma en el sentido pleno y completo del término es ya casi conocer a Dios. *Deum et*

animam scire cupio, suspira San Agustín, Dios y el alma, pues no se puede conocer lo uno sin conocer lo otro; *noverim me, noverim te,* ... pues —y es ésa una noción de una importancia capital decisiva— para el platónico medieval, *inter Deum et animam nulla est interposita natura;* el alma humana es literalmente una imagen, una semejanza de Dios. Es ésta justamente la razón de que no se pueda conocer por completo [12].

Se comprende que un alma de tal clase no esté, propiamente hablando, *unida* al cuerpo. No forma con él una unidad indisoluble y esencial. Sin duda, está en el cuerpo. Pero está en él «como el piloto está en el navío»: lo gobierna y lo guía, pero en su ser no depende de él.

Lo mismo ocurre en lo que concierne al hombre. Pues el hombre, para el platónico medieval, no es nada más que un *anima immortalis mortali utens corpore,* un alma que posee un cuerpo. Lo usa, pero en ella misma es independiente de él y más molestada y trabada que ayudada por él en su acción. En efecto, solamente el alma está dotada de la actividad propia del hombre, el pensamiento, la voluntad. Hasta tal punto que para el platónico no habría que decir: el *hombre* piensa, sino el *alma* piensa y percibe la verdad. Ahora bien, para esto el cuerpo no le sirve de nada. Muy al contrario, se interpone como una pantalla entre ella y la verdad [13].

El alma no necesita del cuerpo para conocer y conocerse a sí misma. Ella se comprende inmediata y directamente. Sin duda no se conoce plena y enteramente en su esencia. Sin embargo, su existencia, su ser propio, es lo más seguro y más cierto que hay para ella en el mundo. Esto es algo que no puede ponerse en duda. La certeza del alma para sí misma, el conocimiento directo del alma por sí misma, son rasgos muy importantes y muy platónicos. Así, si nos encontramos algún día frente a un filósofo que nos explica que un hombre desprovisto y privado de toda sensación interna y externa se conoce a pesar de todo en su ser, en su existencia, no dudemos; incluso si nos dice lo contrario, ese filósofo es un platónico [14].

[12] El alma se conoce directa e inmediatamente; capta su ser, pero no su esencia. El alma no posee la idea de sí misma, pues su idea es Dios, nos explicará Malebranche.

[13] Por eso, el alma desencarnada encuentra de nuevo la plenitud de sus facultades. Forzando un poco los términos, se podría decir que el alma está encerrada en su cuerpo como en una prisión. En sí misma, es casi un ángel.

[14] Se reconoce, sin duda, a Avicena.

Pero esto no es todo. El alma para el platónico no se limita a conocerse a sí misma. Pues conociéndose a sí misma, por poco que sea, conoce también a Dios, puesto que es su imagen por imperfecta y lejana que sea, y, en la luz divina que la inunda, conoce todo lo demás. Por lo menos todo lo que pueda ser conocido por ella y que valga la pena de ser conocido.

La luz divina que ilumina a todo hombre que viene al mundo, luz de verdad que emana del Dios-verdad, sol inteligible del mundo de las ideas, imprime al alma el reflejo de las ideas eternas, ideas de Platón convertidas en ideas de Dios, ideas según las cuales Dios ha creado el mundo; ideas que son los arquetipos, los modelos, los ejemplares eternos de las cosas cambiantes y fugitivas de aquí abajo.

Por ello no es estudiando estas cosas —los objetos del mundo sensible— como reconoce el alma la verdad. La verdad de las cosas sensibles no está en ella: está en la conformidad de ésta con las esencias eternas, con las ideas eternas de Dios. Son éstas las que constituyen el legítimo objeto del verdadero saber: estas ideas son la idea de la perfección, la idea del número; es hacia ellas hacia donde debe dirigirse el pensamiento apartándose del mundo que se ofrece a nuestros sentidos (el platónico se dirige siempre hacia las matemáticas, y el conocimiento matemático es siempre para él el propio modelo del saber). A menos que perciba en la belleza de este mundo sensible la huella, el vestigio, el símbolo de la belleza sobrenatural de Dios.

Ahora bien, si es alrededor del alma, imagen divina, donde se organiza la concepción epistemológica y metafísica del platonismo medieval, esta concepción se esgrimirá en todos los pasos del pensamiento. Por eso las pruebas de la existencia de Dios, problema central de la metafísica medieval, tienen en este pensamiento un sesgo extremadamente característico.

El filósofo utilizará, sin duda, la prueba que afirma la existencia del Creador partiendo de la criatura o, la que del orden, de la finalidad reinante en el mundo, deduce la existencia de un ordenador supremo. En otros términos, las pruebas que se basan en los principios de causalidad y de finalidad.

Pero estas pruebas no dicen gran cosa al espíritu del platónico medieval. Una buena demostración debe ser construida de un modo muy distinto. No debe partir del mundo material y sensible: para el platónico, en efecto, éste existe apenas, no existe más que en la débil medida en que, de una manera muy

lejana y muy imperfecta, refleja algo del esplendor y la gloria de Dios; en la medida misma en que es un símbolo. Concebir a Dios como creador del mundo material, efímero y finito, para el platónico es concebirlo de una manera muy pobre, demasiado pobre.

No, una demostración digna de ese nombre debe fundarse en realidades mucho más profundas, más ricas y sólidas, es decir, en la realidad del alma; o en la de las ideas. Y como las ideas o sus reflejos se encuentran en el alma, se puede decir que para el platónico medieval, el *Itinerarium mentis in Deum* pasa siempre por el *alma*.

Una prueba platónica es la prueba por los grados de perfección, prueba que, del hecho de que existan esos grados, deduce la existencia de la perfección suprema e infinita, medida y origen de la perfección parcial y finita.

Una prueba platónica es la prueba que ya he mencionado por la idea de la verdad, prueba que, de la existencia de verdades fragmentarias, particulares y parciales, deduce la de una verdad absoluta y suprema, una verdad infinita.

Perfección absoluta, verdad absoluta, ser absoluto: para el platónico es así como se concibe al Dios infinito.

Además, nos enseña San Buenaventura, no necesitamos detenernos en estas pruebas «por grados»: lo finito, lo imperfecto, lo relativo, implican directamente (en el orden del pensamiento como en el del ser) lo absoluto, lo perfecto, lo infinito. Esta es justamente la razón de que, por finitos que seamos, podemos concebir a Dios, y, como nos lo ha enseñado San Anselmo, demostrar la existencia de Dios a partir de su idea misma: basta inspeccionar en cierto modo la idea de Dios que encontramos en nuestra alma, para ver inmediatamente que Dios, perfección absoluta y suprema, no puede no ser. Su ser, e incluso su ser necesario, está en cierto modo incluido en su perfección, que no puede ser pensada como no existente.

Concluyamos, pues: la primacía del alma, la doctrina de las ideas, el iluminismo que soporta e intensifica el innatismo de Platón, el mundo sensible concebido como un pálido reflejo de la realidad de las ideas, el apriorismo e incluso el matematismo: he ahí un conjunto de rasgos que caracterizan al *platonismo medieval.*

Volvamos ahora hacia el aristotelismo.

Ya he dicho que el platonismo de la Edad Media, el de un San Agustín, un Roger Bacon o un San Buenaventura, no era,

ni con mucho, el platonismo de Platón. Del mismo modo, el aristotelismo, incluso el de un Averroes y, *a fortiori*, el de un Avicena, o por no hablar más que de filósofos de la Edad Media occidental, el aristotelismo de San Alberto Magno, de Santo Tomás o de Siger de Brabante, no era tampoco el de Aristóteles.

Esto, además, es normal. Las doctrinas cambian y se modifican a lo largo de su existencia histórica: todo lo que vive está sometido al tiempo y al cambio. Solamente las cosas muertas y desaparecidas permanecen inmutablemente iguales. El aristotelismo medieval no podía ser el de Aristóteles, aunque no fuera más que porque *vivía* en un mundo diferente, en un mundo en el que, tal como he dicho anteriormente, se *sabía* que no había y que no podía haber más que un solo Dios.

Los escritos aristotélicos llegan a Occidente, primero por España, en traducciones hechas del árabe, luego en versiones hechas directamente del griego en el curso del siglo XIII. Quizás incluso hacia el final del siglo XII.

Ya en 1210, en efecto, la autoridad eclesiástica prohíbe la lectura —es decir, el estudio— de la física de Aristóteles. Prueba cierta de que era conocida desde un tiempo lo suficientemente largo ya para que los efectos nefastos de su enseñanza se hicieran sentir.

La prohibición fue papel mojado: la difusión de Aristóteles va a la par con la de las escuelas, o más exactamente, con la de las universidades.

Esto nos revela un hecho importante: el medio en el que se propaga el aristotelismo no es el mismo que aquel que absorbía las doctrinas platónicas del agustinismo medieval; y la atracción que ejerce no es la misma tampoco [15].

El aristotelismo, como he dicho antes, se propaga en las universidades. Se dirige a gentes ávidas de *saber*. Es ciencia antes de ser otra cosa, antes incluso de ser filosofía, y es por su valor propio de *saber científico*, y no por su parentesco con una actitud religiosa, por lo que se impone.

Muy al contrario: el aristotelismo aparece al principio como incompatible con la actitud espiritual del buen cristiano y del buen musulmán; y las doctrinas que enseña —la eternidad del mundo, entre otras— parecen netamente contrarias a las ver-

[15] Cf. G. Robert, *Les écoles et l'enseignement de la théologie pendant la premiere moitié du XIIe siècle*, 2.ª ed., Ottawa-París, 1933.

dades de la religión revelada [16] e incluso a la concepción fundamental del Dios-creador. Por ello se comprende muy bien que la autoridad o que la ortodoxia regiliosa haya condenado a Aristóteles por todas partes. Y que los filósofos de la Edad Media se hayan visto obligados a interpretarlo, es decir, a repensarlo en un sentido nuevo, compatible con el dogma religioso. Esfuerzo que no triunfó más que parcialmente con Avicena [17], pero que triunfó brillantemente con Santo Tomás: así, Aristóteles, cristianizado en cierto modo por Santo Tomás, llegó a ser la base de la enseñanza en Occidente.

Pero volvamos a la actitud espiritual del aristotelismo: ya he dicho que está empujado por el deseo del saber *científico*, por la pasión del estudio. Pero no es su alma, es el mundo lo que estudia: física, ciencias naturales... Pues el mundo, para el aristotélico, no es el reflejo apenas consistente de la perfección divina, libro simbólico en el que se puede descifrar —e incluso a duras penas— la gloria de lo eterno; el mundo se ha solidificado en cierto modo. Es un «mundo», una *naturaleza,* o un conjunto jerarquizado y bien ordenado de *naturalezas,* conjunto muy estable y muy firme, que posee un ser propio; que lo posee incluso *como propio.* Sin duda, para un aristotélico medieval, este ser es derivado de Dios, causado por Dios e incluso creado por Dios; pero este ser que Dios le confiere, una vez recibido, el mundo, la naturaleza, la criatura lo posee. Y es suyo, ya no es de Dios.

Sin duda, este mundo —y los seres de este mundo— es móvil y cambiante, sometido al devenir, al transcurso del tiempo: sin duda se opone por eso mismo al ser inmutable y supratemporal de Dios; pero por móvil y temporal que sea, el mundo no es ya efímero y su movilidad no excluye de ningún modo la permanencia. Bien al contrario, se podría decir que para el aristotélico, cuanto más cambia, más es lo mismo, pues si los individuos cambian, aparecen y desaparecen en el mundo, el mundo no cambia: las *naturalezas* permanecen las mismas. Es incluso por esto por lo que son *naturalezas.* Y es por esto por lo que la verdad de las cosas está en ellas.

El espíritu del aristotélico no está, como el del platónico medieval, vuelto espontáneamente hacia sí mismo, está natural-

[16] El aristotelismo, a decir verdad, es incompatible con la noción misma de religión revelada.

[17] Es posible, además, que la verdadera doctrina de Avicena, esotérica y cuidadosamente ocultada al vulgo —ocurre lo mismo en lo que concierne a al-Fārābī— sea tan irreligiosa, e incluso antirreligiosa, como la de Averroes.

mente fijado en las cosas. Así, son las cosas, la existencia de las cosas lo que hay de más seguro para él. El acto primero y propio del espíritu humano no es la percepción de sí mismo, sino la percepción de los objetos naturales, sillas, mesas, otros hombres. Sólo por un giro, una contorsión o un razonamiento llega a captarse o a conocerse a sí mismo.

El aristotélico *tiene*, sin duda, un alma; pero él *no es* un alma. Es *un hombre*.

Así, a la pregunta socrática, a la pregunta ¿qué soy?, es decir, ¿qué es el hombre?, dará una respuesta muy distinta a la que da el platónico. El hombre *no es* un alma encerrada en el cuerpo, alma inmortal en un cuerpo mortal: ésa es una concepción que, según el aristotelismo, rompe la unidad del ser humano; el hombre es un *animal rationale mortale*, un animal racional y mortal.

Dicho de otro modo, el hombre no es algo extraño —en cuanto alma— infinitamente superior al mundo; es una *naturaleza* entre otras naturalezas, una naturaleza que, en la jerarquía del mundo, ocupa un lugar propio. Un lugar, sin duda, bastante elevado, pero que se encuentra *en el mundo*.

Tanto como se centra la filosofía del platónico en la noción de *alma* se centra la del aristotélico en la de *naturaleza*. Ahora bien, la naturaleza humana comprende el cuerpo tanto como el alma; es la unidad de los dos. Así, los actos humanos son todos, o casi todos, actos mixtos, y en todos, o casi todos —volveré luego sobre la excepción— el cuerpo interviene como un factor integrante, indispensable y necesario. Privado de su cuerpo el hombre no sería ya hombre, pero tampoco sería ángel. Reducido a no ser más que un alma, sería un ser incompleto e imperfecto. El no haberlo comprendido es el error del platónico.

Además, ¿qué es el alma? Según una definición célebre, es la *forma del cuerpo organizado que tiene la vida en potencia;* definición que expresa admirablemente la correlación esencial entre la *forma*, el alma y la *materia*, el cuerpo, en el compuesto humano. Por eso, si nada es más fácil para un platónico que demostrar la inmortalidad del alma, hasta tal punto es, desde el principio, concebida como algo completo y perfecto [18], nada es más difícil para un aristotélico. Y sólo haciéndose infiel al espíritu del aristotelismo histórico —o, si se prefiere, refor-

[18] Con el fin de conferirle el carácter de sustancialidad, el platónico medieval llega a dotarla de una materia espiritual.

mado y transformado en este punto (como en otros) el aristotelismo de Aristóteles—, creando completamente una especie nueva de formas sustanciales que pueden prescindir de la materia, pudo Santo Tomás conformarse a la verdad de la religión.

Pero volvamos al hombre y a sus actos. El hombre, lo hemos visto, es por su *naturaleza* un ser mixto, un compuesto de alma y cuerpo. Ahora bien, todos los actos de un ser deben ser conformes a la naturaleza. El acto propio del hombre, el pensamiento, el reconocimiento, no puede, pues, no comprometer *toda* su naturaleza, es decir, su cuerpo y su alma a la vez. Por esto no sólo el pensamiento humano se nos revelará como algo que *comienza* por la percepción de las cosas materiales y, por tanto, por la percepción *sensible,* sino que este elemento formará de él un momento necesario e integrante.

Para el aristotelismo, el dominio de lo sensible es el dominio propio del conocimiento humano. Sin sensación no hay ciencia. Sin duda, el hombre no se limita a sentir: elabora la sensación. Se acuerda, imagina y, por estos medios, se libera de la necesidad de la presencia efectiva de la cosa percibida. Después, en un grado superior, su intelecto *abstrae* la forma de la cosa percibida de la materia a la que está naturalmente ligada, y es esta facultad de abstracción, la capacidad de pensar abstractamente, la que permite al hombre hacer ciencia, y le distingue de los animales. El pensamiento abstracto de la ciencia está muy lejos de la sensación. Pero la unión subsiste *(Nihil est in intellectu quod non prius fuerit in sensu...).* Por eso, los seres espirituales son inaccesibles al pensamiento humano, al menos directamente, y no pueden ser alcanzados por él más que por el razonamiento. Esto es válido para todos los seres espirituales, incluyendo el alma humana.

Así, mientras el alma platónica se captaba ella misma inmediata y directamente, el alma aristotélica llega a conocerse solamente por el razonamiento; por una especie de razonamiento causal del efecto a la causa, del acto al agente. Y, del mismo modo que el alma agustiniana —imagen de Dios— tenía, o encontraba en ella algo que le permitía concebir a Dios, formarse una idea —muy imperfecta y lejana, sin duda, pero una idea de todos modos— de Dios, su arquetipo y su original, esta vía está completamente cerrada para el aristotélico. Solamente por el razonamiento causal puede llegar a Dios, probar y demostrar su existencia.

Por ello, todas las pruebas de la existencia de Dios están fundadas en consideraciones causales, y parten todas de la existencia de las cosas del mundo exterior. Se podría incluso ir más lejos; probando la existencia de Dios, el aristotélico adquiere su noción. Para el platónico, lo hemos visto, sucede lo contrario.

Las pruebas de la existencia de Dios del aristotélico demuestran su existencia en cuanto causa primera o fin último de los seres. Y se fundan en el principio del ἀνάγκη στῆναι, es decir, en la imposibilidad de prolongar sin fin una serie causal [19], de remontarse sin fin del efecto a la causa: hay que detenerse en algún sitio, establecer una causa que ya no sea causada, que ya no sea un efecto.

Se puede razonar de una manera análoga construyendo una serie, no ya de causas (eficientes), sino de fines: habrá que establecer en algún lugar un fin último, un fin en sí mismo. Se pueden también examinar ciertos aspectos particulares de la relación causal, partir del fenómeno eminentemente importante del movimiento: en el aristotelismo, en efecto, todo se mueve y nada se mueve por sí mismo, todo movimiento presupone un motor. Por tanto, de motor en motor se llegará al último o primer motor inmóvil, el cual revelará al mismo tiempo ser el fin primero o último de los seres; se puede al fin argumentar a partir de la contingencia de los seres —prueba preferida por Avicena— y hacer ver que la serie de los seres contingentes no puede prolongarse indefinidamente y que debe conectar en algún lugar con un ser no contingente, es decir, necesario [20].

Está claro que todas estas pruebas —salvo quizá la que nos presenta a Dios como el fin último de los seres, bien supremo y objeto último o primero de su deseo o de su amor—, no nos le presentan más que como causa, ni siquiera necesariamente creadora, del mundo. Y recordamos lo insuficiente que le parecía esto al platónico.

[19] Se trata, por supuesto, de una serie *bien ordenada*, no de una serie temporal; esta última, al contrario, puede prolongarse indefinidamente. Por eso, la creación *en el tiempo* es indemostrable.

[20] La demostración de Avicena va, además, a veces directamente de lo contingente a lo necesario. Hay, como sabemos, mucho platonismo en Avicena.

Sin duda volvemos a encontrar en el aristotélico las pruebas por los grados de perfección y del ser... Pero aun en eso, mientras que el platónico saltaba en cierto modo de lo relativo a lo absoluto, de lo finito a lo infinito, el aristotélico procede por grados, fundándose una vez más en la imposibilidad de una serie infinita.

Por eso Duns Escoto, el perfecto y sutil lógico de la Escuela —mucho más platónico en el fondo de lo que se cree normalmente— estima que estas pruebas fracasan y sólo pueden fracasar. No se puede, partiendo de lo finito, y apoyándose en el principio de que hay que detenerse en algún sitio, demostrar la existencia de un Dios infinito. Aristóteles lo hace sin duda, y también Avicena. Pero, por un lado, Avicena no es, como Duns Escoto lo señala muy bien, un aristotélico de estricta observancia: Avicena es un creyente. Además, Avicena —tanto como Aristóteles— supone expresamente un mundo *eterno.* Es de verdad necesario un motor infinito para mantener eternamente el movimiento. Pero si el mundo no es eterno, si es finito, basta sobradamente... En fin, mucho más lógico que Avicena, Aristóteles no hace de su Dios motor un Dios creador. Avicena, y también Santo Tomás, parten de un Dios creador: por esto también es por lo que desembocan en él: siendo el uno musulmán y el otro cristiano, transforman, conscientemente o no, la verdadera filosofía de Aristóteles[21].

Creo que Duns Escoto tiene razón. Poco nos importa desde luego. El aristotelismo medieval no es el de Aristóteles; está dominado, transformado, transfigurado, por la idea religiosa del Dios creador, del Dios infinito. Sin embargo, es suficientemente fiel a la enseñanza de su maestro para oponerse —e incluso violentamente— a las teorías del platonismo medieval.

Sin duda, acepta la concepción platónica y neoplatónica de las ideas eternas en el espíritu de Dios. Pero estas ideas son ideas divinas; no son las nuestras; y ninguna luz nos llega de ellas. Para iluminarnos tenemos *nuestra* luz, nuestra luz humana, la inteligencia, que es *nuestra.* Sin duda, nos viene de Dios como cualquier otra cosa, por otro lado. Pero si se me permite esta imagen, no es un espejo que refleja la luz divina, es una lámpara que Dios ha encendido en nosotros y que luce ahora con su propia luz. Esta luz es ampliamente suficiente para permitirnos iluminar —conocer— el mundo y guiarnos en el mun-

[21] Cf. E. Gilson, «Les seize premiers theoremata et la pensée de Duns Scot», *Archives d'Histoire doctrinale et littéraire au Moyen Age,* vol. 12-13, París, 1938.

do. Es para esto además para lo que está hecha. Basta igualmente para probar, con la ayuda de razonamientos como los que acabamos de esbozar, la existencia de un Dios creador. No basta para permitirnos formarnos una idea verdadera de él. Una idea que haría válidos —para nosotros— los argumentos del platónico.

De este modo, la prueba por la idea —la prueba anselmiana— sería buena para un ángel, es decir, para un ser puramente espiritual, un ser que poseyera esta idea de Dios que presupone San Anselmo. Para nosotros, que no la poseemos, no vale nada.

Está claro que se trata siempre de lo mismo, la misma idea central: naturaleza humana, pensamiento humano, y si estudiara la moral, se trataría de conducta humana... Naturaleza, pensamiento, conducta de un ser compuesto, de un ser cuya alma está íntima y casi indisolublemente ligada a su cuerpo.

Ahora bien, cosa curiosa, hay un punto en el que el aristotelismo termina por romper la unidad de la naturaleza humana, un punto en el que es el aristotélico infiel a su maestro, Santo Tomás, quien, contra éste, restablece la unidad.

El aristotélico tiene un respeto profundo por el pensamiento. Por el verdadero pensamiento, por supuesto. Lo explica de otro modo que Platón; nos lo muestra elaborándose penosa y lentamente a partir de la sensación bruta. En el fondo, lo estima más por eso. Y que un ser *humano*, es decir, compuesto, pueda llegar al verdadero pensamiento, pueda alcanzar la verdad científica e incluso metafísica, esto le sumerge en un arrebato y en un asombro sin límites.

Pues el pensamiento para el aristotélico es la esencia misma de Dios. Su Dios, lo sabemos bien, es el pensamiento puro. Pensamiento que se piensa a sí mismo, porque no encuentra en ninguna otra parte objeto digno de ser pensado por él.

Ahora bien, en el hombre el pensamiento es también algo divino. O casi. Pues el aristotélico, por más que nos lo muestre elaborándose a partir de lo sensible, tal como acabo de decir, constata, sin embargo, que en un cierto momento, en un cierto grado, lo sensible está totalmente superado. El pensamiento —el del filósofo, del metafísico, el pensamiento que capta y formula las leyes esenciales del Ser y del Pensamiento que toma conciencia de sí mismo— es una actividad pura y totalmente espiritual. Por tanto, ¿cómo puede pertenecer a un ser *humano*? Aristóteles no da una respuesta muy clara a este problema capital. Un pasaje célebre nos dice que el intelecto agente (νοῦς ποιητικός) es puro (ἀμιγής) e inmortal (ἀθάνατος

καὶ ἀπαθής), está separado (χωριστός) y nos viene de fuera (θύραθεν).

Generaciones de comentadores han enarbolado este texto proponiendo las interpretaciones más diversas y más inverosímiles. En líneas generales no hay más que dos soluciones posibles: la de Alejandro de Afrodisia, que —modificándola— adoptarán los árabes, y la de Temistio, que —elaborándola y acabándola— adoptará Santo Tomás.

Vamos a examinar brevemente estas dos soluciones, pero antes precisemos lo que es el «intelecto agente» [22].

Es indiscutible que en nuestro pensamiento hay un elemento activo y un aspecto pasivo. Aristóteles distingue, por tanto, en nosotros dos intelectos: intelecto *agente* e intelecto *paciente*. El primero es el del maestro; el segundo, el del alumno. El primero es el que enseña; el segundo, el que aprende. El primero, el que da; el segundo, el que recibe.

Aristóteles, al contrario que Platón, que enseña que no se puede aprender nada que no se sepa ya, estima que sólo se puede saber lo que se ha aprendido. Y también que no se puede aprender algo más que si hay alguien que lo ha aprendido antes que nosotros, que lo sabe y que nos transmite —nos impone— este saber.

Así, pues, el pensamiento —que Platón interpreta como un diálogo, diálogo del alma consigo misma, diálogo que la hace descubrir por sí misma, en sí misma, la verdad que le es innata— es concebido por el Estagirita a modo de lección. Una lección que se da a sí mismo, es decir, una lección que el intelecto agente da al paciente.

Ahora bien, es ya bastante difícil ser alumno, *aprender* y *comprender* la verdad de las ciencias, de la metafísica. Pero ¿inventarla, descubrirla con sus propias fuerzas? Es pedir de-

[22] La noción de intelecto agente es bastante difícil, y el propio Aristóteles se ve obligado a recurrir a una comparación, o mejor dicho, a una analogía: la aprehensión de la verdad por el intelecto es algo análogo a la percepción sensible, y el intelecto se comporta respecto a su objeto, aproximadamente como el ojo lo hace respecto al suyo; es intelección «en potencia» como el ojo es visión «en potencia». Ahora bien, lo mismo que no basta tener ojos para ver, y que, sin la intervención de la luz, no es posible ninguna visión efectiva (en acto), igualmente no es suficiente poseer un intelecto «en potencia de saber» para que resulte de ello conocimiento efectivo: se necesita además la intervención o la acción de un factor especial, el intelecto agente, o el intelecto en acto, que desempeña por lo tanto, con relación al intelecto humano, el papel que la luz desempeña con relación al ojo.

masiado a la naturaleza humana, puramente humana. Por eso, es necesario que la lección nos venga «de fuera».

Esta es la razón de que Alejandro, y, después de Alejandro, al-Fārābī, Avicena y Averroes —con diferencias que sería muy extenso estudiar[23]— hayan estimado que este maestro que posee la verdad —¿acaso no la necesita para poder enseñar?—, que la posee siempre, o que, en términos de Aristóteles, está siempre en acto, no forma parte del compuesto humano. Actúa en el hombre, en el intelecto humano (paciente o posible, παθητικός) «desde fuera» y en función de esta acción el hombre piensa, es decir, aprende y comprende.

El intelecto agente no es propio de cada hombre; es sólo, único y común al género humano entero. Efectivamente, sólo el error nos pertenece como propio; es mío o tuyo. La verdad no pertenece a nadie. Un pensamiento *verdadero* es idénticamente el mismo en todos los que piensan. Se deduce de ello que debe ser único, pues lo que es múltiple debe ser diferente.

La teoría árabe de la «unidad del intelecto» humano explica bastante bien por qué la verdad es una para todo el mundo, por qué la razón es una igualmente. Pero se plantea un problema: ¿qué pasa con el alma humana en esta teoría que le niega el ejercicio de la actividad espiritual propiamente dicha? Lógicamente, un alma tal no puede ser inmortal, no puede existir después de la muerte de su cuerpo...[24]. Avicena, sin embargo, se niega a aceptar esta consecuencia, o por lo menos, a aceptarla por completo. El pensamiento, efectivamente, es algo tan divino que el hecho de haber pensado, de haber aprendido y comprendido, de haber alcanzado la sabiduría de la verdad, transforma el intelecto paciente en un intelecto *adquirido*. Y es este intelecto el que queda después de la muerte del cuerpo y sigue pensando —eternamente— las verdades que había hecho suyas en vida.

Está claro: la escuela, el estudio de la ciencia y sobre todo de la filosofía lleva a todo, lleva a la felicidad suprema, que

[23] Cf. R. P. M. Mandonnet, *Siger de Brabant et l'averroïsme latin au XIIIe siècle*, 2.ª ed., Lovaina, 1911.

[24] El alma, al ser la «forma» del cuerpo, no puede subsistir sin éste; la existencia de actos puramente espirituales realizados por el intelecto humano es lo único que nos permite considerarla como «separable». Ahora bien, según la doctrina de los árabes, estos actos no son *sus* actos.

para el hombre, como para Dios, consiste en el ejercicio del pensamiento; lleva también a la inmortalidad[25].

La solución de Avicena es visiblemente una solución falsa, solución de un hombre que tiene miedo de admitir las consecuencias de los principios que él mismo ha planteado. Por eso, Averroes no lo acepta. La unidad, o mejor dicho, la unicidad del intelecto humano (de todo el género humano), el carácter no individual, impersonal del pensamiento, implican necesariamente la negación de la inmortalidad. El individuo humano —como todos los individuos de las demás especies animales— es esencialmente temporal, pasajero y *mortal*. La definición aristotélica del hombre —animal racional y mortal— hay que tomarla en serio en su sentido literal más estricto. Entonces, ¿qué es el hombre? Ya lo hemos oído: un ser animal, racional y mortal; un ser que vive *en el mundo* y que en el mundo obra y cumple su destino. ¿Y qué debe hacer ahí? También aquí la respuesta es formal: lo mejor, en la medida de lo posible, es hacer ciencia, filosofía. Esto simplemente porque siendo el pensamiento la actividad más elevada, su ejercicio nos procura la satisfacción más pura y profunda.

El averroísmo constituye una poderosa empresa de laicización de la vía espiritual, de negación, más o menos camuflada, del dogma religioso[26]. Pero esto no es todo. Desde el punto de vista filosófico, el averroísmo implica la negación de la individualidad espiritual, y, mucho más profunda y peligrosamente que el platonismo, rompe la unidad del ser humano. Efectivamente, si no era el hombre sino el alma quien pensaba y quería en el platonismo, era por lo menos *mi* alma, mi alma que era yo mismo. Yo no soy yo, ni siquiera mi alma quien piensa para el averroísta: es el intelecto agente, impersonal y común a todos, quien piensa *en mí*...

Extraña consecuencia de una doctrina humanista que acaba por privar al hombre de lo que constituye su naturaleza y fundamenta su dignidad. ¡Qué bien se comprende que Santo Tomás se haya sublevado contra ella! No sólo en nombre de la fe, como se ha dicho muy a menudo, sino también en nombre de la razón. Pues la filosofía averroísta no es solamente una filosofía impía para él; es también, y puede que sobre todo, una mala filosofía.

[25] A una inmortalidad impersonal, por supuesto.

[26] Ernest Renan dijo en su bello libro sobre *Averroès et l'averroïsme*, que nadie, excepto los judíos, tomó a Averroes en serio. Ese es un error total: el averroísmo desempeñó un papel de primerísima importancia en la Edad Media y en el Renacimiento.

De este modo, su solución al problema planteado por el texto de Aristóteles se opone a las soluciones árabes. Es también la única que, en el marco del aristotelismo, permite salvaguardar la unidad y la individualidad de la persona humana, del compuesto humano.

Esta solución nos enseña, *grosso modo*, que la actividad y la pasividad, el intelecto agente y el intelecto paciente, son inseparables, y, por consiguiente, si el hombre piensa, debe necesariamente poseer los dos. Ahora bien, si Aristóteles nos dice que el intelecto agente nos viene «de fuera», tiene mucha razón, con tal de que se comprenda que nos viene directamente de Dios; que es Dios quien confiere, *a cada uno de nosotros*, al crearnos, un intelecto agente. Esto es justamente lo que nos hace criaturas espirituales y explica en último término la actividad puramente intelectual de nuestra razón: la consciencia de sí, el conocimiento metafísico, la existencia de la filosofía. Y es la espiritualidad de nuestra alma la que explica a su vez el hecho de que sea separable del cuerpo y subsista, inmortal, cuando muere éste.

Acabo de decir que la solución tomista es la única que en el marco del aristotelismo permite salvaguardar la espiritualidad del alma y la unidad del compuesto humano. Sería quizá más exacto decir que desborda los marcos del aristotelismo: el Dios de Aristóteles (y de Averroes), este Dios que no piensa más que en sí mismo y que ignora el mundo que no ha creado, es incapaz de desempeñar el papel que le asigna Santo Tomás. La solución tomista presupone un Dios creador y un mundo creado. Pues es solamente en un mundo tal donde *singula propriis sunt creata rationibus*, en el que la individualidad *espiritual*, la *personalidad* humana, es posible. No lo es en el cosmos de Aristóteles. Esa es la lección que nos enseña la muy curiosa historia del platonismo y del aristotelismo medievales.

LA APORTACIÓN CIENTÍFICA DEL RENACIMIENTO *

Hablar de la aportación científica del Renacimiento puede parecer paradójico e incluso increíble. En efecto, si el Renacimiento fue una época de una fecundidad y una riqueza extraordinarias, una época que enriqueció prodigiosamente nuestra imagen del universo, sabemos todos, sobre todo hoy, que la inspiración del Renacimiento no fue una inspiración científica. El ideal de civilización de la época que se llama justamente Renacimiento *de las letras y de las artes,* no es de ningún modo un ideal de ciencia, sino un ideal de retórica.

De este modo, es sumamente característico que la gran reforma de la lógica que intentó —pienso en la lógica de Ramus— fuera una tentativa de sustituir la técnica de la demostración de la lógica clásica por una técnica de la persuasión.

El tipo que encarna el ambiente y el espíritu del Renacimiento es evidentemente el gran artista; pero es también y sobre todo quizá el hombre de letras: fueron los literatos sus promotores, sus anunciadores y sus «pregoneros». Lo fueron también los eruditos. Y aquí me permito recordar lo que nos ha dicho Bréhier: el espíritu de erudición no es exactamente —ni en modo alguno— el espíritu de la ciencia.

Por otro lado, sabemos también, y esto es algo muy importante, que la época del Renacimiento fue una de las épocas menos dotadas de espíritu crítico que haya conocido el mundo. Es la época de la más burda y profunda superstición, una época en la que la creencia en la magia y en la brujería se propagó de manera prodigiosa y estuvo infinitamente más extendida que en la Edad Media, y ustedes saben bien que la astrología desempeña en esta época un papel mucho mayor que la astronomía

* Texto de una ponencia presentada en la «Quinzième Semaine de Synthèse» (1 de junio de 1949) y publicada en el volumen de la *Quinzième Semaine de Synthèse: La synthèse, idée-force dans l'évolution de la pensée* (París, Albin Michel, 1951, pp. 30-40).

—pariente pobre, como dijo Kepler—, y que los astrólogos ocupan cargos oficiales en las ciudades y junto a los soberanos. Y si miramos la producción literaria de esta época, es evidente que no son los hermosos volúmenes de traducciones de clásicos salidos de las prensas valencianas los que constituyen los grandes éxitos de librería: son las demonologías y los libros de magia; son Cardano y más tarde Porta los grandes autores que se leen por todas partes.

La explicación de este estado de ánimo sería muy complicada y no quiero intentarla aquí. Existen factores sociológicos, factores históricos; deben ser tomados en consideración los hechos mismos de la recuperación de la vieja literatura griega y latina, de la difusión de esta literatura, del respeto que inspiraban a los literatos y a los eruditos del Renacimiento los cuentos más estúpidos desde el momento en que se los encontraban en los textos clásicos.

Pero en mi opinión hay también otra cosa. El gran enemigo del Renacimiento, desde el punto de vista filosófico y científico, fue la síntesis aristotélica, y se puede decir que su gran obra fue la destrucción de esta síntesis.

Ahora bien, estos rasgos que acabo de evocar, la credulidad, la creencia en la magia, me parecen consecuencias directas de esta destrucción. Efectivamente, después de haber destruido la física, la metafísica y la ontología aristotélicas, el Renacimiento se encontró sin física y sin ontología, es decir, sin posibilidad de decidir con anticipación si algo es posible o no.

Ahora bien, me parece que en nuestro pensamiento lo posible prevalece siempre sobre lo real, y lo real no es más que el residuo de lo posible; se coloca o se encuentra en el marco de lo que no es imposible. En el mundo de la ontología aristotélica hay una infinidad de cosas que no son posibles, una infinidad de cosas, pues, que se sabe de antemano que son falsas.

Una vez que esta ontología es destruida y antes de que una nueva, que no se elabora hasta el siglo XVII, haya sido establecida, no hay ningún criterio que permita decidir si la información que se recibe de tal o cual «hecho» es verdadera o no. De esto resulta una credulidad sin límites.

El hombre es un animal crédulo por naturaleza; es normal creer en el testimonio, sobre todo cuando viene de lejos o del pasado; es normal creer en el testimonio de gentes honradas y respetables, de gentes que justamente inspiran confianza. Así, desde el punto de vista del testimonio, nada está establecido de un modo más seguro que la existencia del demonio y de las brujas; mientras no se sepa que la acción de la brujería y de

la magia es una cosa absurda, no se tiene ninguna razón para no creer en esos hechos.

Ahora bien, por el hecho *mismo* de la *destrucción* de la ontología medieval, de la ontología aristotélica, el Renacimiento se ha encontrado lanzado o reducido a una ontología mágica, cuya inspiración se encuentra por todas partes. Si se miran los grandes sistemas, las grandes tentativas de síntesis filosóficas de la época, bien sea Marsilio Ficino o Bernardino Telesio, o incluso Campanella, se encontrará siempre en el fondo de su pensamiento una ontología mágica. Incluso aquellos que, en cierto modo por obligación, habrían debido defender la ontología aristotélica, como los averroístas y los alejandrinistas de Padua, se contagiaron del espíritu de la época; y tanto en Nifo como en Pomponazzi encontramos la misma ontología mágica y la misma creencia en los poderes demoníacos.

De este modo, si se quisiera resumir en una frase la mentalidad del Renacimiento, yo propondría la fórmula: *todo es posible*. El único problema es saber si «todo es posible» en virtud de intervenciones de fuerzas sobrenaturales, y ésta es la demonología sobre la que Nifo escribió un gran libro que tuvo un enorme éxito, o si se rechaza la intervención de las fuerzas sobrenaturales para decir que todo es natural y que incluso los hechos milagrosos se explican por una acción de la naturaleza; es en esta naturalización mágica de lo maravilloso en lo que consiste lo que se ha llamado «el naturalismo» del Renacimiento.

Ahora bien, si esta credulidad de «todo es posible» es el reverso de la medalla, hay también un anverso. Este anverso es la curiosidad sin límites, la agudeza de visión y el espíritu de aventura que llevan a los grandes viajes de descubrimientos y a las grandes obras de descripción. Mencionaré solamente el descubrimiento de América, la circunnavegación de Africa, la circunnavegación del mundo, que enriquecen prodigiosamente el conocimiento de los hechos, y que alimentan la curiosidad por los hechos, por la riqueza del mundo, por la variedad y la multiplicidad de las cosas. Siempre que baste una recopilación de hechos y una acumulación de saber, siempre que no se necesite una teoría, el siglo XVI produjo cosas maravillosas.

Nada más bonito, por ejemplo, que las colecciones de dibujos botánicos que revelan en sus láminas una agudeza de visión positivamente prodigiosa. Pensemos en los dibujos de Durero, en las colecciones de Gesner, en la gran enciclopedia de Aldrovandi, llenos además de historias sobre el poder y la acción mágicos de las plantas. Lo que falta, en cambio, es la teoría clasi-

ficadora, la posibilidad de clasificar de un modo razonable los hechos que se han reunido: en el fondo, no se supera el nivel del catálogo. Pero se acumulan los hechos, los libros y las colecciones, se fundan jardines botánicos, colecciones mineralógicas. Se tiene un inmenso interés por las «maravillas de la naturaleza», por la *varietas rerum*, se goza con la percepción de esta variedad.

Ocurre lo mismo en lo que concierne a los viajes, a la geografía. Ocurre lo mismo en lo que concierne a la descripción y al estudio del cuerpo humano. Se sabe que ya Leonardo había hecho disecciones, o más exactamente, pues se habían hecho mucho antes que él, que Leonardo se atrevió a hacer dibujos de ellas, acumulando en una sola lámina los detalles que había observado en varios objetos anatómicos. Y es en 1543, fecha doblemente memorable —es la fecha de la publicación del *De revolutionibus orbium coelestium*, de Copérnico— cuando aparece el gran libro *De fabrica corporis humani*, de Vesalio.

La tendencia erudita produce igualmente sus frutos, quizá involuntariamente; poco importa además. Los grandes textos científicos griegos que eran desconocidos o mal conocidos en la época anterior son traducidos, editados o retraducidos y reeditados. En realidad, sólo se traduce verdadera y totalmente al latín a Tolomeo en el siglo XV y, como se sabe, en función del estudio de Tolomeo se realizará la reforma de la astronomía. También los grandes matemáticos griegos son traducidos y editados a lo largo del siglo XVI. Arquímedes primero, luego Apolonio, Pappus, Herón. Finalmente, en 1575, Maurólico intenta reconstruir los libros perdidos de Apolonio, tarea que hasta Fermat será una de las principales ambiciones de los grandes matemáticos de finales del siglo XVI y principios del XVII. Ahora bien, es cierto que son la reanudación y asimilación de la obra de Arquímedes las que sirven de base a la revolución científica que se realizará en el siglo XVII, igual que la meditación de los libros de Apolonio sobre las cónicas hará posible la revolución astronómica operada por Kepler.

Si pasamos a la evolución científica propiamente dicha, se podría decir, sin duda, que se efectúa al margen del espíritu renaciente, y al margen de la actividad del Renacimiento propiamente dicho. Sin embargo, es verdad que la destrucción de la síntesis aristotélica forma su base previa y necesaria.

Bréhier nos ha recordado que en la síntesis aristotélica el mundo forma un cosmos físico bien ordenado, cosmos en el que todo se encuentra en su lugar, la Tierra en particular, al encontrarse en el centro del Universo y en virtud de la estructura

misma de este universo. Es evidente que había que destruir esta concepción del mundo para que la astronomía heliocéntrica pudiera tomar impulso.

No tengo tiempo de describir la historia del pensamiento astronómico. Querría, sin embargo, insistir en el hecho de que fueron los filósofos los que comenzaron el movimiento. Es cierto que fue la concepción de Nicolás de Cusa la que inauguró el trabajo destructivo que lleva a la demolición del cosmos bien ordenado, poniendo en el mismo plano ontológico la realidad de la Tierra y la de los cielos. La Tierra, nos dice, es una *stella nobilis*, una estrella noble, y es por eso mismo, tanto como por la afirmación de la infinitud o más bien de la indeterminación del universo, por lo que pone en funcionamiento el proceso de pensamiento que desembocará en la nueva ontología, en la geometrización del espacio y en la desaparición de la síntesis jerárquica.

En la física y la cosmología aristotélicas, para traducirlas a un lenguaje un poco moderno, la estructura misma del espacio físico es la que determina el lugar de los objetos que allí se encuentran. La Tierra está en el centro del mundo, porque, por su naturaleza, es decir, porque es pesada, debe encontrarse en el centro. Los cuerpos pesados van hacia ese centro, no porque se encuentre allí algo, o porque alguna fuerza física los atraiga; van al centro porque les empuja allí su naturaleza. Y si la Tierra no existiera y si la imaginásemos destruida y no quedara de ella más que un trocito que hubiera escapado a esta destrucción, ese trozo conservado iría igualmente al centro como al «único» lugar que le conviene. Para la astronomía esto quiere decir que es tanto la estructura del espacio físico como su naturaleza propia lo que determina el lugar y el movimiento de los astros.

Ahora bien, justamente la concepción inversa es la que se abre paso en los diferentes sistemas de astronomía que se oponen a la concepción aristotélica y en los que el punto de vista físico sustituye gradualmente al punto de vista cosmológico.

Si los cuerpos pesados, nos dice Copérnico, van hacia la Tierra, no es porque vayan hacia el centro, es decir, hacia un lugar determinado del Universo; van simplemente porque quieren regresar a la Tierra. El razonamiento copernicano pone de manifiesto la sustitución por una realidad o un lazo *físico* de una realidad y un lazo metafísico; por una fuerza *física* de una estructura cósmica. Así, por imperfecta que sea la astronomía copernicana desde el punto de vista físico o mecánico, identifica, sin embargo, la estructura física de la Tierra con la de

los astros celestes, dotándolos a todos de un mismo movimiento circular. Igualmente asimila mutuamente el mundo sublunar y el mundo supralunar, y de este modo realiza la primera etapa de identificación de la materia o los seres que componen el universo, de destrucción de esta estructura jerárquica que dominaba el mundo aristotélico.

No tengo tiempo de describir la historia de la lucha entre la concepción copernicana y la concepción tolemaica de la astronomía y de la física; ésa fue una lucha que duró dos siglos; los argumentos de una parte y de otra no eran en modo alguno despreciables; a decir verdad, no eran muy fuertes ni de un lado ni de otro, pero lo que aquí nos importa sobre todo no es el desarrollo de la astronomía como tal, sino el progreso en la unificación del universo, la sustitución por un universo regido por las mismas leyes del cosmos estructurado y jerarquizado de Aristóteles.

El segundo paso hacia esta unificación lo dio Tycho Brahe, quien, aunque partidario, y esto por razones físicas muy válidas, de la concepción geocéntrica, aportó a la astronomía y a la ciencia en general algo absolutamente nuevo, a saber, un espíritu de precisión: precisión en la observación de los hechos, precisión en la medida, precisión en la fabricación de instrumentos de medida que sirvan para la observación. Aún no es el espíritu experimental; de todos modos, es ya la introducción en el conocimiento del universo de un espíritu de precisión. Ahora bien, la precisión de las observaciones de Tycho es la que sirve de base al trabajo de Kepler. Efectivamente, tal como nos dice éste, si el Señor nos ha dado un observador como Tycho Brahe, no tenemos derecho a despreciar una diferencia de ocho segundos entre sus observaciones y el cálculo. Tycho Brahe —es una vez más Kepler quien nos lo dice— ha destruido definitivamente la concepción de las esferas celestes que soportan a los planetas y que rodean la Tierra y el Sol, y por eso mismo —aunque el problema no se haya planteado por sí solo— ha impuesto a sus sucesores la consideración de las causas físicas de los movimientos celestes.

No puedo exponer aquí tampoco la obra magnífica de Kepler, obra confusa y genial y que quizá sea la que represente mejor el espíritu del Renacimiento en la ciencia, aunque cronológicamente sea posterior a éste; las grandes publicaciones de Kepler pertenecen efectivamente al siglo XVII: la *Astronomia nova sive physica coelestis*, es de 1609, y el *Epitome Astronomiae copernicanae* fue publicado de 1618 a 1621.

Lo que es radicalmente nuevo en la concepción del mundo de Kepler es la idea de que el universo esté regido en todas sus partes por las mismas leyes y por leyes de naturaleza estrictamente matemática. Su universo es, sin duda, un universo estructurado, jerárquicamente estructurado en relación al Sol y armoniosamente ordenado por el Creador, que se manifiesta a sí mismo en él como en un símbolo; pero la norma que sigue Dios en la creación del mundo está determinada por consideraciones estrictamente matemáticas o geométricas.

Al estudiar los cinco cuerpos regulares de Platón, Kepler tuvo la idea de que el conjunto de estos cuerpos formaban el modelo según el cual Dios creó el mundo y de que las distancias de los planetas a partir del Sol debían ajustarse a las posibilidades de encaje, el uno en el otro, de estos cuerpos regulares. La idea es típicamente kepleriana: hay regularidad y armonía en la estructura del mundo, pero ésta es estrictamente geométrica. El Dios platónico de Kepler construye el mundo geometrizándolo.

Kepler es un verdadero *Janus bifrons*: encontramos todavía en su obra el paso, extremadamente característico, de una concepción aún animista del universo a una concepción mecanicista. Kepler, que en el *Mysterium cosmographicum* comienza por explicar los movimientos de los planetas por la fuerza de las almas que les empujan y guían, nos dice en el *Epitome* que no vale la pena recurrir a almas allí donde la acción de fuerzas materiales o semimateriales, como la luz o el magnetismo, ofrece una explicación suficiente; ahora bien, el mecanismo basta justamente porque los movimientos planetarios siguen leyes estrictamente matemáticas.

Además, dado que Kepler descubrió que la velocidad de los movimientos de los planetas no es uniforme, sino que está sujeta a variaciones periódicas en el tiempo y en el espacio, debió plantearse el problema de las causas físicas que producían estos movimientos. Por eso mismo debió formular, aunque de un modo imperfecto, la primera hipótesis de la atracción, de una atracción magnética y no completamente universal sin duda, pero que de todos modos se extendía lo suficientemente lejos para poder conectar los cuerpos del universo con el Sol.

Kepler supo descubrir las verdaderas leyes de los movimientos planetarios; no pudo, en cambio, formular las del movimiento porque no supo llevar suficientemente lejos —era además extremadamente difícil— la geometrización del espacio y llegar a la noción nueva de movimiento que resulta de ello. Para Kepler, que en esta cuestión es un buen aristotélico, el re-

poso no necesita ser explicado. El movimiento, por el contrario, necesita una explicación y una fuerza. Por esto Kepler no puede llegar a concebir la ley de la inercia. En su mecánica, como en la de Aristóteles, las fuerzas motrices producen velocidades y no aceleraciones; la persistencia de un movimiento implica la acción persistente de un motor.

El fracaso de Kepler se explica, sin duda, por el hecho de que, dominado por la idea de un mundo bien ordenado, no puede admitir la de un universo infinito. Y nada es más característico por lo que respecta a esto que la crítica que opone a las intuiciones de Giordano Bruno. Bruno no es seguramente un sabio; es un matemático execrable —cuando hace un cálculo, podemos estar seguros de que será falso— que quiere reformar la geometría introduciendo en ella la concepción atómica de los «mínimos» y, sin embargo, comprende mejor que nadie —sin duda porque es filósofo— que la reforma de la astrononía realizada por Copérnico implica el abandono total y definitivo de la idea de un universo estructurado y jerárquicamente ordenado. Por ello proclama con una osadía sin parangón la idea de un universo infinito.

Aunque no puede elevarse todavía —justamente porque no es matemático y no conoce la física, la verdadera, la de Arquímedes— a la noción de un movimiento que se continúa a sí mismo en un espacio en lo sucesivo infinito, llega de todos modos a plantear y afirmar esta geometrización del espacio y la expansión infinita del universo que es la premisa indispensable de la revolución científica del siglo XVII, de la fundación de la ciencia clásica.

Es muy curioso ver a Kepler oponerse a esta concepción. El mundo de Kepler, mucho más extenso, sin duda, que el de la cosmología aristotélica, e incluso que el de la astronomía copernicana, está aún limitado por la bóveda estelar, dispuesta alrededor de la inmensa cavidad que ocupa nuestro sistema solar. Kepler no admite la posibilidad de un espacio que se extienda más allá, ni la de un espacio lleno, es decir, poblado por otras estrellas, estrellas que no vemos —eso sería, piensa, una concepción gratuita y anticientífica—, ni la de un espacio vacío: un espacio vacío no sería nada, o sería una nada existente. Está dominado siempre por la idea de un mundo, expresión del creador, e incluso de la Trinidad divina. De este modo ve en el Sol la expresión del Dios Padre, en el mundo estelar la del Hijo y en la luz y la fuerza que circulan entre los dos en el espacio, la del Espíritu. Y justamente esta fidelidad a la concepción de

un mundo limitado y finito es la que no permite a Kepler franquear los límites de la dinámica aristotélica.

Kepler (y Bruno) pueden ser incorporados al Renacimiento; con Galileo salimos sin ninguna duda y definitivamente de esta época. Galileo no tiene nada de lo que la caracteriza. Es antimágico en el más alto grado. No experimenta ningún gozo ante la variedad de las cosas. Por el contrario, lo que le anima es la gran idea —arquimediana— de la física matemática, de la reducción de lo real a lo geométrico. De este modo, geometriza el universo, es decir, identifica el espacio físico con el de la geometría euclidiana. Por esto supera a Kepler. Debido a esto es capaz de formular el concepto de movimiento que sirve de base a la dinámica clásica. Pues aunque no se haya pronunciado claramente —probablemente por prudencia— acerca de este problema de la finitud o infinitud del mundo, el universo galileano no está de ninguna manera limitado por la bóveda celeste. Por ello admite que el movimiento es una *entidad* o un *estado* tan estable y tan perdurable como el *estado* de reposo; admite, pues, que no se necesita una fuerza constante que obre sobre el móvil para explicar su movimiento; admite la relatividad del movimiento y del espacio y, por tanto, la posibilidad de aplicar a la mecánica las leyes estrictas de la geometría.

Galileo fue quizá el primero que creyó que las formas matemáticas se realizaban efectivamente en el mundo. Todo lo que está en el mundo está sometido a la forma geométrica; todos los movimientos están sometidos a leyes matemáticas, no sólo los movimientos regulares y las formas regulares, que quizá no se encuentran en absoluto en la naturaleza, sino también las mismas formas irregulares. La forma irregular es tan geométrica como la forma regular, es tan precisa como ésta; solamente es más complicada. La ausencia en la naturaleza de rectas y círculos perfectos no es una objeción al papel preponderante de las matemáticas en la física.

Galileo se nos presenta al mismo tiempo como uno de los primeros hombres que comprendió de una manera muy precisa la naturaleza y el papel de la experiencia en las ciencias.

Galileo sabe que la experiencia —o si puedo permitirme emplear la palabra latina, el *experimentum*, para oponerlo justamente a la experiencia común, a la que no es más que observación— que el *experimentum* se prepara, que el *experimentum* es una pregunta hecha a la naturaleza, una pregunta hecha en un lenguaje muy especial, en el lenguaje geométrico y matemático; sabe que no basta observar lo que existe, lo que se presenta normal y naturalmente a los ojos, que hay que saber

formular la pregunta y que además hay que saber descifrar y comprender la respuesta, es decir, aplicar al *experimentum* las leyes estrictas de la medida y la interpretación matemática.

Galileo es también el que, por lo menos en mi opinión, construyó o creó el primer verdadero instrumento científico. Ya he dicho que los instrumentos de observación de Tycho Brahe eran ya de una precisión desconocida hasta entonces, pero los instrumentos de Tycho Brahe, como todos los instrumentos de astronomía anteriores a Galileo, eran instrumentos de observación; eran, a lo sumo, instrumentos de medida —más precisos que los de sus predecesores— de hechos simplemente observados. En cierto sentido, aún son herramientas, mientras que los instrumentos galileanos —y esto es aplicable tanto al péndulo como al telescopio— son instrumentos en el más fuerte sentido del término: son encarnaciones de la teoría. El telescopio galileano no es un simple perfeccionamiento del anteojo «bátavo»; está construido a partir de una teoría óptica; está construido con una cierta finalidad científica, a saber, para revelar a nuestros ojos las cosas que son invisibles a simple vista. Tenemos aquí el primer ejemplo de una teoría encarnada en la materia, que nos permite franquear los límites de lo observable en el sentido de lo que se ofrece a la percepción sensible, fundamento experimental de la ciencia pregalileana.

Haciendo así de la matemática el fondo de la realidad física, Galileo es llevado necesariamente a abandonar el mundo cualitativo y a relegar a una esfera subjetiva, o relativa al ser vivo, todas las cualidades sensibles de las que está hecho el mundo aristotélico. La ruptura es, pues, extremadamente profunda.

Antes del advenimiento de la ciencia galileana, aceptamos con más o menos acomodación e interpretación, sin duda, el mundo que se ofrece a nuestros sentidos como el mundo real. Con Galileo y después de Galileo tenemos una ruptura entre el mundo que se ofrece a los sentidos y el mundo real, el de la ciencia. Este mundo real es la geometría hecha cuerpo, la geometría realizada.

Aquí salimos del Renacimiento propiamente dicho; sobre estas bases, sobre la base de la física galileana, de su interpretación cartesiana, se construirá la ciencia tal como la conocemos, nuestra ciencia, y podrá construirse la gran y extensa síntesis del siglo XVII, la que fue realizada por Newton.

LOS ORÍGENES DE LA CIENCIA MODERNA. UNA INTERPRETACIÓN NUEVA *

Desde los tiempos heroicos de Pierre Duhem, de energía y saber asombrosos, al que debemos la revelación de la ciencia medieval, un gran número de trabajos se han consagrado a esta última. La publicación de las grandes obras de Thorndike y de Sarton y, en estos diez últimos años, las de las brillantes investigaciones de Anneliese Maier y de Marshall Clagett, por no hablar de una multitud de otras monografías y estudios, han ampliado y enriquecido nuestro conocimiento y nuestra comprensión de la ciencia medieval y de sus relaciones con la filosofía medieval —cuyo conocimiento y comprensión han hecho progresos aún más grandes—, así como de la cultura medieval en general.

Y, sin embargo, el problema de los orígenes de la ciencia moderna y de sus relaciones con la de la Edad Media sigue siendo una *quaestio disputata* muy vivamente debatida. Los partidarios de una evolución continua, al igual que los de una revolución, se mantienen todos en sus posiciones, y parecen incapaces de convencerse los unos a los otros [1]. Esto, en mi opinión, mucho menos porque estén en desacuerdo sobre los hechos que porque lo están sobre la esencia misma de la ciencia moderna y, por consiguiente, sobre la importancia relativa de algunos caracteres fundamentales de esta última. Además, lo que a unos les parece una diferencia de grado, a otros les parece una oposición de naturaleza [2].

* Artículo extraído de *Diogène*, núm. 16, 1956, París, Gallimard, pp. 14-42.

[1] Véase, por ejemplo, mi estudio sobre el libro de Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im XIV. Jahrhundert*, Roma, 1949, aparecido en los *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 1951, pp. 769 ss., y su respuesta: «Die naturphilosophische Bedeutung der scholastichen Impetus-Theorie», en *Scholastik*, 1955, pp. 32 y ss.

[2] Así, Crombie ve una diferencia de grado en el hecho de que el método cuantitativo haya reemplazado al método cualitativo (cf. *Robert Grosseteste...*, pp. 4, 25 ss.), mientras que, para mí, ahí hay una diferencia de naturaleza.

La concepción de la continuidad encuentra en A. C. Crombie su defensor más elocuente y absoluto. En realidad, su brillante y erudito libro sobre Roberto Grosseteste[3] —una de las contribuciones más importantes a nuestro conocimiento de la historia del pensamiento medieval entre las publicaciones de estos últimos diez años, obra que asocia a una riqueza excepcional de información una profundidad y sutileza de interpretación igualmente notables— tiende, principalmente, a demostrar no sólo que la ciencia moderna tiene su origen profundo en el terreno medieval, sino también que —por lo menos en sus aspectos fundamentales y esenciales— por su inspiración metodológica y filosófica, es una invención medieval. O para recoger los términos de Crombie (p. 1):

El rasgo distintivo del método científico del siglo XVII, si se le compara con el de la Grecia antigua, era su concepción de la manera en la que una teoría debía estar vinculada a los hechos observados que se proponía explicar, la serie de pasos lógicos que comportaba para construir teorías y someterlas a controles experimentales. La ciencia moderna debe con mucho su éxito al uso de estos métodos inductivos y experimentales, que constituyen lo que se llama a menudo el *método experimental*. La tesis de este libro es la siguiente: la comprensión sistemática, moderna, por lo menos de los aspectos cualitativos de este método, se debe a los filósofos occidentales del siglo XIII. Son ellos quienes han transformado el método geométrico de los griegos y han hecho la ciencia experimental moderna.

Si pudieron hacerlo, estima Combrie, es porque, al contrario que sus predecesores griegos —e incluso árabes—, fueron capaces de utilizar el empirismo práctico de las artes y oficios buscando una explicación racional, y de superar así las limitaciones de uno y otro, y porque, una vez más al contrario que los griegos, fueron capaces de formarse una concepción mucho más unificada de la existencia. En consecuencia, si los diferentes tipos y modos de conocimiento distinguidos por los griegos —física, matemática y metafísica— correspondían para éstos a diferentes tipos de existencia, los filósofos cristianos del Occidente, al contrario, «vieron en ellos diferencias esencialmente de método» (p. 2).

Los problemas metodológicos desempeñan un papel importante durante los períodos críticos de la ciencia, como hemos

[3] A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the origins of experimental science. 1100-1700*, XII-369 pp., Oxford, Clarendon Press, 1953; cf. también A. C. Crombie, *Augustine to Galileo*, XVI-463 pp., Londres, Falcon Press, 1952.

visto nosotros mismos en una época reciente. No es de extrañar, pues, que hayan ocupado tal lugar en el siglo XIII, en una época en que, a consecuencia del aflujo siempre creciente de traducciones del árabe y del griego, el mundo occidental debía asimilar un volumen casi abrumador de conocimientos científicos y filosóficos nuevos. Ahora bien, los problemas más importantes tratados por la metodología científica conciernen a la relación de las teorías con los hechos; su objetivo es fijar las condiciones que la teoría debe cumplir para ser aceptada y establecer los diversos métodos que nos permiten decidir si una teoría dada es válida o no. En otros términos, para recoger las expresiones medievales, los métodos de «verificación» y de «falsación».

Según Crombie, los hombres de ciencia-filósofos del siglo XIII tuvieron el gran mérito de comprender el interés que presenta para esta «verificación» y esta «falsación» el método experimental, en tanto que se distingue de la simple observación que es la base de la inducción aristotélica; descubrieron y elaboraron así las estructuras fundamentales del «método experimental» de la ciencia moderna. A decir verdad, descubrieron más que esto, a saber, el verdadero sentido y la verdadera función de una teoría científica, y reconocieron que tal teoría «no podría ser nunca cierta» y, por tanto, no podía pretender ser necesaria, es decir, única y definitiva.

Naturalmente, Crombie no dice que la ciencia medieval (la de los siglos XIII y XIV) utilizara el método experimental tan bien y tan ampliamente como la del siglo XVII. Declara así (página 19):

El método experimental no estaba a punto en todos sus detalles en el siglo XIII, ni siquiera en el XIV. Y este método tampoco se aplicaba siempre sistemáticamente. La tesis de este libro es que una teoría sistemática de la ciencia experimental era ya comprendida y aplicada por número suficiente de filósofos para producir la revolución metodológica a la que la ciencia moderna debe su origen. Con esta revolución apareció en el mundo latino occidental una noción clara de la relación entre la teoría y la observación, noción en la que se fundan la concepción y la aplicación práctica modernas de la investigación científica y de la explicación, un conjunto claro de métodos que permiten tratar los problemas físicos.

En cuanto a la ciencia del siglo XVII y a su filosofía, según Crombie no llevaron consigo ninguna modificación fundamental de los métodos científicos existentes. Sustituyeron simplemente el procedimiento cualitativo por el procedimiento cuan-

titativo y adaptaron a la investigación experimental un tipo nuevo de matemáticas (pp. 9-10).

La mejora más importante aportada ulteriormente a este método escolástico es el paso general, en el siglo XVII, de los métodos cualitativos a los métodos cuantitativos. Los aparatos e instrumentos de medida especiales se hicieron más numerosos y precisos; se echó mano de medios de control para aislar los factores esenciales en los fenómenos complejos, se establecieron métodos de medida sistemáticos a fin de determinar las variaciones concomitantes y poder expresar los problemas bajo una forma matemática. Sin embargo, esto no representaba más que progresos realizados con procedimientos ya conocidos. La original y notable contribución del siglo XVII fue asociar la experiencia a la perfección de un nuevo tipo de matemáticas y a la nueva libertad que se tenía para resolver los problemas físicos por medios de teorías matemáticas, de las cuales las más asombrosas son las de la dinámica moderna.

La ciencia del siglo XVII proclamaba su total originalidad y se juzgaba a sí misma totalmente opuesta a la de la escolástica medieval, a la que pretendía derribar. Sin embargo (p. 2):

La concepción de la estructura lógica de la ciencia experimental defendida por sabios tan eminentes como Galileo, Francis Bacon, Descartes y Newton, era precisamente la que se había elaborado en los siglos XIII y XIV. Heredaron también la aportación concreta que recibieron las diversas ciencias durante este período.

Vemos que la teoría histórica de Crombie, fuera de su concepción general de una continuidad del desarrollo del pensamiento científico de los siglos XIII al XVII, lleva consigo una opinión muy interesante sobre el papel desempeñado por la metodología en este mismo desarrollo. Según él, los pensadores del siglo XIII adquirieron *primero* una concepción de la ciencia y del método científico que, en sus aspectos fundamentales —sobre todo en la utilización de las matemáticas para formular teorías y de los experimentos para su «verificación» y su «falsación» era idéntica a la del siglo XVII; *a continuación*, aplicando deliberadamente este método a investigaciones científicas particulares, establecieron una ciencia del mismo tipo que la de Galileo, Descartes y Newton. Y para probar esta originalísima tesis, Crombie nos presenta en su libro una historia extremadamente interesante de las discusiones medievales de *methodo*, es decir, del desarrollo de la *lógica inductiva* (ámbito bastante descuidado por los historiadores de esta disciplina), así como

un estudio sugestivo y lleno de interés del desarrollo de la óptica en la Edad Media. En efecto, es más al campo de la óptica que al de la *física* propiamente dicha (o dinámica) a lo que Crombie se refiere para la «verificación» de su teoría.

Las discusiones metodológicas de los filósofos medievales siguen el modelo fijado por los griegos y están estrechamente ligadas al modo en que Aristóteles trata el problema de la ciencia (método inductivo y deductivo) en sus *Segundos analíticos*. La mayoría de las veces se nos presentan como *Comentarios* de estos *Analíticos*. Y, sin embargo, estos comentarios de la Edad Media, por lo menos algunos de ellos, y en cualquier caso los de Roberto Grosseteste, el héroe de la historia contada por Crombie, representan un claro progreso en relación a sus modelos griegos o árabes. Citemos una vez más a Crombie (páginas 10-11):

La maniobra estratégica por la que Grosseteste y sus sucesores de los siglos XIII y XIV crearon la ciencia experimental moderna, consistía en unir la costumbre experimental de las artes prácticas al racionalismo de la filosofía del siglo XII.

Grosseteste parece haber sido el primer escritor de la Edad Media en reconocer y tratar los dos problemas metodológicos fundamentales de la inducción y de la «verificación» y «falsación» que se plantearon cuando la concepción griega de la demostración geométrica fue aplicada al mundo de la experiencia. Parece haber sido el primero en establecer una teoría sistemática y coherente de la investigación experimental y de la explicación racional, teoría que hizo del método geométrico griego la ciencia experimental moderna. Con sus sucesores fue, por lo que se sabe, el primero en utilizar y en ilustrar con ejemplos una teoría tal en los detalles de la investigación original de problemas concretos. Ellos mismos creían crear una nueva ciencia y en particular una nueva metodología. Una gran parte del trabajo experimental de los siglos XIII y XIV fue efectuado en realidad con el único fin de ilustrar esta teoría de la ciencia experimental, y todas sus obras reflejan este aspecto metodológico.

Así, por ejemplo, una de las más importantes y fructíferas ideas metodológicas de Grosseteste, aquélla según la cual la ciencia matemática puede a menudo suministrar *la razón* de un conocimiento adquirido empíricamente en la ciencia física, parece haber sido desarrollada primero por él como una concepción puramente epistemológica, más tarde puesta en aplicación para el examen de problemas físicos particulares e ilustrada con ejemplos tomados de la óptica (cf. pp. 51-52). Lo que realmente es bastante natural, dado que la óptica (como la astronomía y la música) había sido clasificada por Aristóteles

como *mathematica media*, es decir, colocada en una categoría de ciencias que, aunque distintas de las matemáticas puras, eran, sin embargo, ciencias *matemáticas* en la medida en que su tema —contrariamente a lo que sucede con su *física*—, podía ser tratado matemáticamente (como nuestras matemáticas aplicadas). Pero en lo que concierne a Grosseteste, ese recurso a la óptica tiene también otro sentido mucho más profundo. En efecto, como lo señala Crombie repetidas veces, y creo que con toda la razón, «la metafísica platónica... ha comportado siempre la posibilidad de una explicación matemática». El neoplatónico Grosseteste, para quien la luz (*lux*) era la «forma» del mundo creado, que ha «informado» la materia informe y por su expansión ha dado lugar al estudio mismo del espacio, pensaba que «la óptica era la clave que permitía comprender el mundo físico» (pp. 104-105) porque, como Ibn Gabirol lo había ya sostenido antes y como Roger Bacon lo sostendría después de él, Grosseteste creía que toda acción causal «seguía el modelo de la luz». Así, la metafísica de la luz hace de la óptica la base de la física que así llega a ser —o por lo menos *puede* llegar a ser— una física *matemática*.

Sin embargo, a pesar de esta tendencia —potencial— a la matematización de la física, Grosseteste no progresa mucho en el sentido de una geometrización de la naturaleza. Muy al contrario, establece una distinción cuidadosa y clara entre las matemáticas y las ciencias naturales (nos dice, por ejemplo, que la razón de la igualdad de los ángulos de incidencia y reflexión no reside en la geometría, sino en la naturaleza de la energía radiante): insiste siempre en la incertidumbre de las teorías físicas por oposición a la certeza de las matemáticas —según Crombie, habría incluso afirmado que todo conocimiento físico no era más que probable [4]—, incertidumbre que es precisamente la razón por la que la verificación experimental de su exactitud es necesaria.

[4] Esto me parece una exageración. Realmente en el pasaje citado por Crombie (p. 59, n. 2) Grosseteste declara sólo que en las ciencias naturales hay *minor certitudo propter mutabilitatem rerum naturalium*, señalando que, *según Aristóteles*, la ciencia y la demostración *maxime dicta* sólo existe en matemática, mientras que en las demás ciencias hay tambien ciencia y demostración, pero no *maxime dicta*. Grosseteste tiene toda la razón, dado que Aristóteles hace una distinción muy clara entre las cosas que son necesariamente tales y las cosas que no son tales más que en la mayoría de los casos o habitualmente. Así, la afirmación de Grosseteste no es en absoluto una innovación y no debe ser interpretada como algo que anuncia la ciencia física «probabilista».

Dice Crombie (p. 52): «En la concepción de la ciencia que Grosseteste, como los filósofos del siglo XII que le precedieron, había aprendido de Aristóteles, había un doble movimiento, de la teoría a la experiencia y de la experiencia a la teoría.» Así, en su comentario a los *Segundos analíticos*, Grosseteste dice: «Hay un doble camino del conocimiento ya existente al (nuevo) conocimiento, a saber, del más simple al compuesto e inversamente», es decir, de los principios a los efectos, y de los efectos a los principios. «Se conocía científicamente un hecho, pensaba, cuando era posible deducir el hecho de principios anteriores mejor conocidos que eran sus causas. Eso significaba en realidad unir el hecho a otros hechos por un sistema de deducciones; él encontraba la ilustración de tal paso en los *Elementos*, de Euclides.»

En matemáticas, para los griegos la progresión de lo más simple y lo mejor conocido a lo compuesto se llamaba «síntesis», y la progresión de lo más complejo a lo más simple, «análisis». Pero en un cierto sentido no hay diferencia fundamental entre estos procesos o métodos, dado que, tanto las premisas como las conclusiones son indiscutibles, necesarias e incluso evidentes en sí mismas.

La situación es muy diferente en ciencias naturales. Los principios simples no son en modo alguno evidentes, ni siquiera mejor conocidos que los hechos complejos dados. La sola inducción empírica no nos conduce al fin deseado: hay un salto entre ésta y la aserción explicativa causal. A fin de preparar este salto, debemos utilizar un método análogo al de análisis y síntesis, el de «resolución y composición». Pero esto no es suficiente: debemos verificar la exactitud de los principios (causas) a los que llegamos por este procedimiento sometiéndolos a la prueba de la experimentación. Porque la «resolución» puede ser hecha de más de un modo, y los efectos a explicar pueden ser deducidos de más de una causa o serie de causas (páginas 82 y ss.).

Grosseteste pensaba que en ciencias naturales, con el fin de distinguir la verdadera causa de las otras causas posibles, un proceso de verificación y de falsación debía tener un lugar al final de la composición. Una teoría obtenida por resolución e intuición, subrayaba, debía permitir encontrar por deducción consecuencias que rebasasen los hechos originales en los que la inducción estaba basada. Pues cuando el argumento procede por composición de los principios a las conclusiones... puede proceder al infinito por subsunción del extremo menor bajo el término medio. Basándose en estas con-

secuencias se procedía a experimentos controlados, gracias a los cuales las causas falsas podían ser eliminadas.

Todo método científico implica una base metafísica o, por lo menos, algunos axiomas sobre la naturaleza de la realidad. Los dos axiomas de Grosseteste, heredados naturalmente de los griegos y realmente admitidos por todos o casi todos los representantes de la naturaleza tanto antes como después de él, son los siguientes: el primero es el principio de la uniformidad de la naturaleza, a saber, que las formas son simpre idénticas en su funcionamiento. Como dice en *De generatione stellarum: Res eiusdem naturae eiusdem operationis secundum naturam suam effectivae sunt. Ergo si secundum naturam suam non sunt eiusdem operationis effectivae, non sunt eiusdem naturae.* En apoyo de este principio, cita el *De Generatione II*, de Aristóteles: *Idem similiter se habens non est natum facere nisi idem;* «la misma causa en las mismas condiciones no puede más que producir el mismo efecto» (p. 85).

El segundo axioma era el del principio de economía o *lex parsimoniae*, tomado también de Aristóteles, que veía en él un principio pragmático y que Grosseteste, así como sus precursores medievales y sus sucesores modernos, empleaba como principio que rige no sólo la ciencia, sino también la propia naturaleza:

Partiendo de estas presuposiciones que conciernen a la realidad, el método de Grosseteste consistía en establecer una distinción por la experiencia y la razón entre las causas posibles. Sacaba deducciones de teorías rivales, rechazaba las que contradecían los datos de la experiencia o que él consideraba que era una teoría establecida, verificada por la experiencia, y utilizaba las teorías que eran verificadas por la experiencia para explicar nuevos fenómenos.

Este método fue explícitamente aplicado por él en sus *Opuscula* a diversas cuestiones científicas, en las cuales las teorías mediante las que aborda su estudio son algunas veces originales, pero la mayoría de las veces están sacadas de autores anteriores como Aristóteles, Tolomeo o diversos naturalistas árabes.

«Sus disertaciones sobre la naturaleza de las estrellas y de los cometas» (p. 87), así como sobre la naturaleza y causa del arco iris y sobre la razón por la que algunos animales tienen cuernos, son buenos ejemplos de ello.

Es a Roger Bacon, aunque éste probablemente no hubiera asistido nunca a las conferencias de Roberto Grosseteste, a quien

Crombie considera como el mejor discípulo de este último. Dice (p. 139):

El escritor que penetró más profundamente y que más completamente desarrolló la actitud de Grosseteste en lo que concierne a la naturaleza y a la teoría de la ciencia fue Roger Bacon. Recientes investigaciones han mostrado que en muchos aspectos de su ciencia, Bacon recogía simplemente la tradición de Oxford y de Grosseteste, aunque estuviera en condiciones de beber en nuevas fuentes desconocidas para Grosseteste, como por ejemplo la *Optica* de Alhacen, y por consiguiente, no sólo de repetir, sino también de mejorar, por lo menos a veces, las teorías ópticas de Grosseteste. Otras veces en cambio las sustituye por teorías mucho menos perfectas.

Así, mientras que en su teoría de la propagación de la luz (multiplicación de *species*) aceptaba la explicación de Grosseteste que veía en ello un proceso de autogeneración y de regeneración de la *lux*, así como la analogía que éste establecía entre la luz y el sonido, aclaró notablemente esta concepción declarando que la luz no era el flujo de un cuerpo sino una pulsación; aceptó también la posición de Alhacen que rechazaba la concepción de una propagación instantánea de la luz. Pero mientras que Grosseteste explicaba la formación del arco iris por una serie de refracciones de la luz «en medio de una nube convexa», Bacon, aun subrayando con precisión el papel desempeñado por cada gota de lluvia y haciendo notar que cada observador veía un arco iris diferente[5], sustituyó bastante desafortunadamente la refracción por la reflexión. En cuanto a su posición general lógico-metodológica, Roger Bacon subraya *a la vez* los aspectos matemáticos y experimentales de la ciencia.

Las matemáticas, según Roger Bacon, son la puerta y la llave de las ciencias y de las cosas de este mundo y dan un conocimiento seguro de ellas. En primer lugar todas las categorías dependen de un conocimiento de la cualidad de la que tratan las matemáticas y por consiguiente toda la excelencia de la lógica depende de las matemáticas (p. 143).

Pero no sólo la ciencia de la lógica, sino también la de la naturaleza, dependía, según él, de las matemáticas, por lo menos en una amplia medida *(ibid.)*; también Roger Bacon dice:

Sólo en matemáticas, como ha dicho Averroes en el primer libro de su *Física*..., las cosas que nos son conocidas y las que están en la naturaleza, o absolutamente, son las mismas...; sólo en matemáticas se encuentran las demostraciones más convincentes, fundadas en las causas necesarias. Por lo que es evidente que si en las otras ciencias deseamos llegar a una certeza en la que no quede

[5] Lo aprendió de Alejandro de Afrodisia o de Avicena, cf. p. 158, n. 3; o incluso de Séneca.

ninguna duda, y a una verdad sin error posible, debemos fundar el conocimiento en las matemáticas. Roberto, obispo de Lincoln, y F. Adán de Marisco han seguido este método, y si alguien descendiera a las cosas particulares aplicando la fuerza de las matemáticas a las diferentes ciencias particulares vería que nada grande puede ser discernido en ellas sin las matemáticas.

Podemos darnos cuenta de ello fácilmente al observar que la astronomía está basada completamente en las matemáticas y que sólo por cálculos y razonamientos matemáticos llegamos —en el cómputo del calendario— a determinar los hechos.

Por otra parte, nadie ha puesto la ciencia experimental en un lugar tan alto como Roger Bacon, quien no sólo le atribuyó la prerrogativa de confirmar —o invalidar— las conclusiones del razonamiento deductivo (*verificación* y *falsación*), sino también aquélla mucho más importante de ser la fuente de verdades nuevas e importantes que no pueden ser descubiertas por otros medios. Realmente, ¿quién podría, sin la experiencia saber algo, sea lo que sea, sobre el magnetismo? ¿Cómo sería posible sin la experiencia descubrir los secretos de la naturaleza y, por ejemplo, hacer avanzar la medicina? La ciencia experimental que une el razonamiento y el trabajo manual es la que nos permitirá construir los instrumentos y máquinas que darán a la humanidad —o a la cristiandad— a la vez conocimiento y poder.

Pero no necesito insistir: todo el mundo conoce las asombrosas anticipaciones —y la asombrosa credulidad— de Roger Bacon.

No puedo, desgraciadamente, analizar aquí la exposición que nos hace Crombie de la óptica medieval y de la manera en que la Edad Media había explicado el arco iris; bajo su experta dirección abordamos a Alberto Magno (pp. 197-200), a Witelo (pp. 213-232) que conocía sin ninguna duda a Grosseteste y Roger Bacon aunque no los cite, y quien además era partidario convencido de la metafísica neoplatónica de la luz del gran pensador de Oxford y finalmente a Thierry de Friburgo (páginas 232-259), el mayor teórico de la óptica de la Edad Media, quien fue el primero en admitir una doble refracción de los rayos luminosos en las gotas de lluvia. Debo volver a la historia de la metodología en la que Crombie nos presenta, como sucesores de Grosseteste que recogen la lógica inductiva de este último desarrollándola, a Duns Escoto —lo que es bastante natural— y a Guillermo de Occam, lo que es más bien sorprendente, dado que Occam —el propio Crombie insiste en este

punto (p. 17)— «reaccionó violentamente contra el platonismo agustiniano de su tiempo», del que Robert Grosseteste fue un partidario tan ferviente.

Crombie cree, en efecto, que la epistemología positivista de Occam (la cual según él era favorable al desarrollo de la ciencia empírica), era, por así decir, el desenlace normal del movimiento metodológico lanzado por Roberto Grosseteste, e incluso su *akmé*. También resumiendo los puntos de vista de Grosseteste nos dice (p. 13) que éste sostuvo que la función de las matemáticas era solamente describir y poner en correlación los hechos y los acontecimientos. Las matemáticas no podían dar a conocer ni las causas eficientes ni las otras causas que producían cambios en la naturaleza, porque hacían explícitamente abstracción de estas causas cuya investigación era el papel propio de la ciencia de la naturaleza, ciencia en la que, «sin embargo, el conocimiento de las causas no era más que incompleto y solamente probable». Además, en su presentación general de la evolución intelectual (epistemológica) de la filosofía científica en la Edad Media que he citado antes (p. 19), Crombie nos decía ya (p. 11) que:

> El principal resultado de este esfuerzo por comprender cómo hay que emplear la teoría para coordinar los hechos en una disciplina práctica correcta fue demostrar que en la ciencia el único «criterio de verdad» era la coherencia lógica y la verificación experimental. La cuestión metafísica del *por qué* de las cosas, a la que se había respondido en términos de sustancias y de causas, *quod quid est*, fue progresivamente sustituida por la cuestión científica del *cómo* de las cosas a la que se respondió simplemente por la puesta en correlación de los hechos, por cualquier medio, lógico o matemático, que condujera a este fin.

En cuanto a Occam, que no era en modo alguno un experimentador, incitaba, sin embargo, a los filósofos de la naturaleza a esforzarse por conocerla a través de la experimentación; pues criticaba violentamente las concepciones tradicionales de la causalidad —no sólo las de las causas finales, que, según él, no eran más que «metafóricas», sino también las de las causas eficientes— y reducía el conocimiento a la simple observación de las secuencias de hechos y de acontecimientos. En consecuencia, su programa práctico para las ciencias de la naturaleza prescribía simplemente poner en correlación los hechos observados o «salvar las apariencias por medio de la lógica y de las matemáticas» (p. 175). Además, aplicando sin piedad el principio de la parsimonia —la célebre «navaja de Occam»—

«formó una concepción del movimiento que debía ser recogida en la teoría de la inercia del siglo XVII (*ibid*).

Lo consiguió rechazando a la vez la concepción aristotélica y la de la teoría del *impetus*, definiendo (p. 176): «el movimiento como un concepto que no tiene realidad fuera de los cuerpos en movimiento», y respondió a la célebre pregunta: *¿a quo moventur projecta?* afirmando que

> la cosa que se mueve en tal movimiento (a saber, el movimiento de un proyectil) después de que el cuerpo movido se ha separado del primer propulsor, es la cosa misma movida, no porque hubiera en ésta una fuerza cualquiera: porque lo que se mueve y lo movido no pueden distinguirse. Si decís que todo efecto nuevo implica una causa propia y que un movimiento local es un efecto nuevo, yo digo que un movimiento local no es un efecto nuevo... porque no existe nada más que el hecho de que el cuerpo que se mueve está en partes diferentes del espacio de tal modo que nunca está en una sola de esas partes únicamente, puesto que dos cosas contradictorias no pueden ser verdaderas.

Detengámonos aquí algunos instantes, y antes de proceder al análisis de las relaciones de la ciencia medieval y de la moderna tal como las presenta Crombie, veamos si podemos considerar su tesis como demostrada. Debo confesar que lo dudo mucho. Personalmente, iría incluso más lejos; realmente, me parece que el contenido mismo de las investigaciones de Crombie conduce a una concepción completamente diferente y en ciertos aspectos contraria del desarrollo de la ciencia medieval y de su *anima motrix*.

Crombie piensa que la llegada de la *ciencia experimental* de la Edad Media, ciencia que se opone a la puramente teórica de los griegos, por la asociación de la teoría a la *praxis*, fue determinada por la actitud activa de la civilización cristiana que se opone por eso mismo a la pasividad que caracteriza a la de la antigüedad[6].

No discutiré aquí la concepción de Crombie sobre los orígenes cristianos de la *scientia activa et operativa*: en efecto, es completamente cierto que podemos encontrar en la tradición cristiana —incluso medieval— suficientes elementos que implican una elevada idea del trabajo (trabajo manual) y que la concepción bíblica del Dios creador puede servir de modelo

[6] Crombie insiste en la tendencia práctica de la enseñanza de la escuela de Chartres, de Kilwardby, etc.

a la actividad humana y contribuir al desarrollo de la industria e incluso del comercio, como fue el caso de los puritanos. Sin embargo, es bastante divertido notar que las tendencias activistas y la conversión hacia la práctica han sido consideradas generalmente como algo que caracteriza el espíritu moderno, porque el interés que tiene por este mundo se opone al despego del espíritu medieval, para el cual este «valle de lágrimas» no es más que un lugar de paso y de pruebas, donde el *homo viator* debe prepararse para la vida eterna. En consecuencia, los historiadores de la filosofía y de la ciencia han opuesto la ciencia industrial de Francis Bacon y la de Descartes, que hacía del hombre «el dueño y señor de la naturaleza», al ideal contemplativo tanto de la Edad Media como de los griegos. Además, sea o no cierta esta concepción —yo no la asumo en modo alguno—, estoy, sin embargo, seguro de que Crombie reconocerá que, a pesar de los dos ejemplos que cita, la Cristiandad medieval estaba mucho más preocupada por el otro mundo que por éste y que el desarrollo del interés prestado a la tecnología —como parece mostrarlo de modo bastante convincente toda la historia moderna— está bastante estrechamente asociado a la secularización de la civilización occidental y al hecho de que el interés se ha apartado de la vida futura en provecho de la vida en este mundo.

Por mi parte, no creo que el nacimiento y desarrollo de la ciencia moderna puedan explicarse por el hecho de que el espíritu se haya apartado de la teoría en beneficio de la *praxis*. Siempre he pensado que esta explicación no estaba de acuerdo con el verdadero desarrollo del pensamiento científico, ni siquiera en el siglo XVII; me parece estar menos de acuerdo aún con el del pensamiento de los siglos XIII y XIV. No niego, claro está, que, a pesar de su supuesto —y a menudo real— despego, la Edad Media, o para ser más exactos, un cierto número o incluso un número bastante grande de personas de la Edad Media se hayan interesado vivamente por la técnica, ni que hayan dado a la humanidad un cierto número de invenciones de gran importancia, algunas de las cuales, si hubieran sido hechas por los antiguos, habrían podido salvar a la Antigüedad del desmoronamiento y de la destrucción debidos a las invasiones bárbaras[7]. Pero realmente, la invención del arado, del arnés, de la biela-manivela y del timón posterior no tiene nada que ver con el desarrollo científico; maravillas tales como el

[7] En realidad, la ruina de la Antigüedad se debió fundamentalmente al hecho de que fue incapaz de resolver los problemas del transporte.

arco gótico, las vidrieras o la espiral de los relojes de finales de la Edad Media, no fueron el resultado de los progresos de las teorías científicas correspondientes, ni suscitaron tal progreso. Por curioso que pueda parecer, un descubrimiento tan revolucionario como el de las armas de fuego no tuvo incidencia científica como tampoco había tenido base científica. Las balas de cañón derribaron el feudalismo y los castillos medievales, pero la dinámica medieval no se modificó. Realmente, si el interés práctico fuera la condición necesaria y suficiente del desarrollo de la ciencia experimental —en nuestra acepción de la palabra— esta ciencia habría sido creada un millar de años —por lo menos— antes de Roberto Grosseteste, por los ingenieros del Imperio romano, si no por los de la República romana.

La historia de la óptica en la Edad Media, tal como nos la cuenta el mismo Crombie, parece confirmar mis dudas acerca de la interdependencia profunda —por lo menos hasta el desarrollo de la tecnología científica que es un fenómeno muy reciente— de las relaciones prácticas y teóricas. Es posible, naturalmente, aunque muy poco verosímil, que el genio desconocido que inventó los anteojos estuviera guiado por consideraciones teóricas; por otra parte, es cierto que este descubrimiento no influyó para nada en el desarrollo de la ciencia óptica de la Edad Media, mientras que esta última, por más que haya podido decir Roger Bacon, no dio origen a la tecnología óptica ni a la construcción de instrumentos ópticos [8]. En el siglo XVII, por el contrario, la invención del telescopio dio ocasión a un desarrollo de la teoría y fue seguido por el progreso de la técnica.

Y si Crombie afirma que la «revolución metodológica del siglo XIII» dio origen a la ciencia nueva y que de un modo general la metodología fue el motor y el factor determinante del progreso científico, no creo que lo haya probado tampoco. Una vez más me parece que los mismos resultados de sus investigaciones socavan sus tesis.

Crombie nos ha mostrado, efectivamente, que el célebre «método de resolución y composición», que muy a menudo nos ha

[8] La óptica no hizo ningún progreso entre Thierry de Friburgo y Maurólico o, prácticamente (no habiéndose publicado antes del siglo XVI las obras de Maurólico), entre Thierry de Friburgo y Kepler. Pero la óptica de Kepler, como ha demostrado Vasco Ronchi, no está basada en concepciones medievales, sino que marca la «catástrofe de la óptica medieval», cf. Vasco Ronchi, *Storia della luce*, 2.ª ed., Bolonia, 1952; trad. francesa, París, 1956.

sido presentado como el *proprium* de la epistemología galileana (y que Randall ha descubierto en los trabajos de los aristotélicos de Padua [9]), no era en modo alguno una invención «moderna», sino que era bien comprendido, descrito y enseñado por los lógicos de la Edad Media desde el siglo XIII e incluso el XII, y que, además, se remonta al método de *análisis* y de *síntesis* (los términos de *resolutio* y *compositio* no son más que la traducción de estas palabras griegas) utilizado por los griegos y descrito por Aristóteles en sus *Segundos analíticos*. Sin embargo, si es así —y se puede dudar de ello difícilmente después de la demostración de Crombie—, la única conclusión que podemos sacar de este importante hecho parece ser que la metodología abstracta tiene relativamente poca importancia para el desarrollo concreto del pensamiento científico. Parece que todo el mundo ha sabido siempre que había que intentar reducir las combinaciones complejas a los elementos simples y que las suposiciones (hipótesis) debían ser «verificadas» o «falsadas» por deducción y confrontación con los hechos. Uno está tentado de aplicar a la metodología el dicho célebre de Napoleón a propósito de la estrategia: sus principios son muy simples, su aplicación es lo que cuenta.

La historia del desarrollo de la ciencia parece confirmar este punto de vista. El mismo Crombie admite que «la revolución metodológica» realizada por Grosseteste no llevó a éste a ningún descubrimiento importante, ni siquiera en óptica. Y en lo que se refiere a las ciencias de la naturaleza en general, la determinación dada por Grosseteste de la «causa» de los cuernos de algunos animales [10], determinación que está fundada completamente en la concepción aristotélica de «las cuatro causas», se parece muy poco a lo que *nosotros* llamamos habitualmente ciencia, sea o no experimental.

Ocurre lo mismo, poco más o menos, en lo que concierne a Roger Bacon: sus experiencias, incluso las que no son poco realistas o puramente literarias, no son apenas superiores a las de Grosseteste y de todas formas no representan un progreso revolucionario —si es que representan algún progreso— en relación a las de la ciencia griega. Además, el progreso real del pensamiento científico parece haber sido en gran medida in-

[9] J. H. Randall, Jr., «The development of scientific method in the School of Padua», *Journal of the History of Ideas*, 1940; cf. mi «Galileo and Plato», *ibid.*, 1944.

[10] Cf. p. 69: «La causa por la que tienen cuernos es que no tienen dientes en los dos maxilares, y el hecho de que no tengan dientes en los dos maxilares es la causa por la que tienen varios estómagos.»

dependiente del de la metodología: hay un método —pero no una metodología— en los trabajos de Jordán de Nemore; y en lo que se refiere al siglo XIII, no hay ninguna razón para creer que Petrus Peregrinus —el único experimentador verdadero de esta época— se apoyaba en cualquier modo en Grosseteste [11]. Incluso en el campo de la óptica, los progresos reales de esta ciencia en los trabajos de Bacon, de Witelo y de Thierry de Friburgo no están determinados por consideraciones metodológicas, sino por aportaciones nuevas, y en primer lugar por la de la *Optica* de Alhacen, que, por razones evidentes, no podía estar influido por la «revolución metodológica» de Occidente.

A decir verdad, Crombie sabe muy bien —seguramente mejor que nadie— que su «revolución metodológica» tuvo un alcance bastante limitado y que el desarrollo continuo de las discusiones metodológicas al final de la Edad Media no se vio acompañado de un desarrollo paralelo de la ciencia. Llega incluso a explicar esta ausencia de progreso científico por el hecho de que los filósofos de esta época se consagraban exclusivamente al estudio de problemas puramente metodológicos, lo que llevó consigo un divorcio entre la metodología y la ciencia —así, ni Duns Escoto ni Guillermo de Occam se interesaron realmente por la ciencia—, divorcio que fue altamente perjudicial para esta última, aunque, al parecer, no lo fuera para la primera.

Crombie tiene ciertamente razón: un exceso de metodología es peligroso, y muy a menudo, si no la mayor parte de las veces, conduce a la esterilidad: tenemos suficientes ejemplos de ello en nuestra época. Por mi parte, iría incluso mucho más lejos: pienso que el lugar de la metodología no está en el principio del desarrollo científico, sino, por así decir, en medio de éste. Ninguna ciencia ha comenzado nunca con un *tractatus de methodo*, ni ha progresado nunca gracias a la aplicación de un método elaborado de un modo puramente abstracto, a pesar del *Discurso del método*, de Descartes. Este, como todos sabemos, fue escrito no *antes*, sino *después* de los *Ensayos* cientí-

[11] Petrus Peregrinus y, después de él, Roger Bacon, insisten en el hecho de que un experimentador debe poder realizar un trabajo manual. Tal es, en efecto, el caso en una época en la que los «artesanos» no son capaces de construir los instrumentos necesarios para el sabio. Así, Newton, Galileo y Huygens tenían que pulir sus lentes o sus espejos ellos mismos, etc. Sin embargo, esto no duró mucho y, bajo la influencia de la ciencia y sus necesidades, se creó una industria de fabricación de instrumentos que retomó este «trabajo manual»: los astrónomos —con rarísimas excepciones— no prepararon ellos mismos sus astrolabios.

ficos de los que constituye el prefacio. En realidad, codifica las reglas de la geometría algebraica cartesiana. De este modo, la ciencia cartesiana misma no era el desenlace de una revolución metodológica, como tampoco la de Galileo fue el resultado de la «revolución metodológica» de R. Grosseteste. Además, incluso si admitiéramos que la metodología tuvo una influencia preponderante en el desarrollo científico, tropezaríamos con una paradoja, la de ver cómo una metodología esencialmente aristotélica engendraba —con tres siglos de retraso— una ciencia fundamentalmente antiaristotélica.

En fin, no estoy en modo alguno seguro de que estemos autorizados para aplicar a la enseñanza lógica de Grosseteste el término de «revolución» [12]. Como ya he indicado, me parece que Crombie en realidad ha demostrado la continuidad perfecta y asombrosa del desarrollo del pensamiento lógico: desde Aristóteles y sus comentaristas griegos —y árabes— hasta Roberto Grosseteste, Duns Escoto y Occam, hasta los grandes lógicos italianos y españoles..., y hasta John Stuart Mill, hay una cadena ininterrumpida de la que el obispo de Lincoln es uno de los eslabones más importantes, pues resucitó esta tradición y la implantó en Occidente. Sin embargo, fue la lógica y la metodología de Aristóteles lo que trasplantó, y como esta lógica y esta metodología forman parte integrante de la física y de la metafísica aristotélicas se encontraban en perfecto acuerdo con la ciencia aristotélica de la Edad Media y no con la del siglo XVII, que no lo estaba o lo estaba muy poco. Pero la metafísica de Grosseteste no era en modo alguno aristotélica; en realidad, si comportaba una buena dosis de aristotelismo era, en sus principales aspectos, una metafísica neoplatónica, lo cual nos lleva al problema de la influencia de la filosofía o de la metafísica en general, y no únicamente de la lógica o de la metodología, sobre el pensamiento científico.

Crombie subraya —me alegro de declararme totalmente de acuerdo con él— que el platonismo y el neoplatonismo han tenido siempre tendencia, por lo menos en principio, a tratar a través de las matemáticas los fenómenos naturales y a dar así a las matemáticas un papel mucho más importante en el sistema de las ciencias que el que les atribuía el aristotelismo. Insiste también, en lo que tiene toda la razón, en el hecho de que la metafísica de la luz de Roberto Grosseteste, de la que éste

[12] En realidad, aun subrayando su aspecto revolucionario, Crombie reconoce él mismo que la metodología de Grosseteste es esencialmente aristotélica.

hizo además el fundamento de la física, constituía la primera etapa del desarrollo de una ciencia matemática de la naturaleza. Aquí me siento igualmente en perfecto acuerdo con él. Creo efectivamente que es aquí donde Grosseteste da pruebas de gran originalidad (no tenemos que olvidar que, a pesar de la armonía natural entre el platonismo y la matematización de la naturaleza, el neoplatonismo desarrolló finalmente una concepción del mundo dialéctica y mágica, y no matemática: la aritmología no es la matemática) y de una profundidad de intuición que solamente el desarrollo científico contemporáneo nos permite apreciar plenamente. Es exacto, naturalmente, que era prematuro querer reducir, como él lo hizo, la física a la óptica, y nadie, excepto Roger Bacon, aceptó su punto de vista. Es igualmente cierto que la evolución de la óptica no desempeñó un papel determinante en la formación de la física del siglo XVII, y que Galileo no se inspiró en la óptica. Sin embargo —me sorprende bastante que Crombie no mencione este hecho—, la gran obra de Descartes debía llamarse *El mundo o tratado de la luz,* aunque, en efecto, su física no haya sido modelada sobre la óptica y, además, apenas haya sido matemática; de todas formas, fue el platonismo (y, naturalmente, el pitagorismo) quien inspiró la ciencia matemática de la naturaleza (y sus métodos) en el siglo XVII y la opuso al empirismo de los aristotélicos (y a su metodología). Sin embargo, como hemos visto, no es sólo al matematismo platonizante, sino también, e incluso más aún, al empirismo de la tradición nominalista y positivista al que Crombie quiere atribuir el mérito de haber inspirado la ciencia «moderna».

Una vez más, desgraciadamente, no puedo aceptar su punto de vista. Naturalmente, no pongo en duda que la crítica de la concepción aristotélica tradicional (que alcanza su punto culminante cuando Occam ataca la validez de las causas finales y niega la posibilidad de conocer todas las demás) haya desempeñado un papel importante al despejar el terreno en el que podía edificarse la ciencia moderna y al suprimir ciertos obstáculos que detenían esta edificación. Por otra parte, dudo mucho que haya sido nunca un factor positivo en el desarrollo científico.

Efectivamente, ni los brillantes trabajos matemáticos y cinemáticos de Nicolás de Oresme —que derivan directamente de los de la Escuela de Oxford, inspirados en el gran Bradwardine—, ni la elaboración de la teoría del *impetus* por él mismo y por Juan Buridán, ni el hecho de que aceptaran la

posibilidad de un movimiento diurno de la Tierra, no tienen nada que ver con el nominalismo o el positivismo.

Crombie no lo niega. Considera que el mayor mérito del nominalismo consiste no en el desarrollo de la teoría del *impetus*, sino en su rechazo por Occam en favor de una concepción que él asimila —como otros muchos historiadores[13]— a la concepción de la inercia del siglo XVII. No pienso que esta interpretación sea completamente exacta, ni que el texto citado por Crombie la corrobore, ni siquiera la admita, aunque *para nosotros* sea bastante natural. *Para nosotros*, que recordamos la declaración aparentemente análoga de Descartes, que afirma no haber diferencia entre el movimiento y el cuerpo en movimiento; *para nosotros*, que olvidamos que para Descartes, como para nosotros mismos, el movimiento es esencialmente un *estado* opuesto al *estado* de reposo —lo cual no es así para Occam— y que es, por consiguiente —contrariamente a la afirmación de Occam—, un *efecto nuevo*, y un efecto que para ser producido requiere no solamente una causa, sino también una causa perfectamente determinada. Me parece que si tenemos esto presente en la mente y si no introducimos en el texto de Occam lo que no está, reconoceremos que es imposible deducir concepciones como, por ejemplo, las de la conservación de la dirección y de la velocidad que implica la concepción moderna del movimiento, y no le imputaremos el descubrimiento del principio de la inercia.

No niego que, como ha dicho Anneliese Maier, la concepción de Occam *habría podido* ser desarrollada y desembocar en la del movimiento concebido como estado. Para mí es suficiente constatar que eso no ha sucedido. Y que ninguno de los numerosos discípulos del *Venerabilis Inceptor* intentó jamás hacerlo. Lo cual es para mí por lo menos la prueba de su perfecta esterilidad. En realidad, el método nominalista conduce al escepticismo y no a la renovación de la ciencia.

El positivismo es hijo del fracaso y de la renuncia. Nace de la astronomía griega y su mejor expresión es el sistema de Tolomeo. El positivismo fue concebido y desarrollado no por los filósofos del siglo XIII, sino por los astrónomos griegos, quienes, habiendo elaborado y perfeccionado el método del pensamiento científico —observación, teoría hipotética, deducción

[13] Así, recientemente, H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, vol. I, p. 159, Munich-Friburgo, 1952; cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, de Pierre Duhem, vol. II, p. 193; y contra esta tesis Anneliese Maier, *op. cit.*, núm. 1.

y, finalmente, verificación por nuevas observaciones—, se encontraron en la incapacidad de descifrar el misterio de los verdaderos movimientos de los cuerpos celestes y, en consecuencia, limitaron sus ambiciones a «superar los fenómenos», es decir, a un tratamiento puramente formal de los datos de la observación. Tratamiento que les permitía hacer predicciones válidas, pero cuyo precio era la aceptación de un divorcio definitivo entre la teoría matemática y la realidad subyacente [14].

Es ésta la concepción —que no es en modo alguno progresiva como parece creer Crombie, sino al contrario, retrógrada en sumo grado— que los positivistas del siglo XIV, bastante cercanos en esto a los de los siglos XIX y XX, quienes sólo han sustituido la resignación por la fatuidad, intentaron imponer a la ciencia de la naturaleza. Y fue por rebelión contra este derrotismo tradicional por lo que la ciencia moderna desde Copérnico (al que Crombie clasifica de modo bastante sorprendente entre los positivistas [15]) a Galileo y a Newton, llevó a cabo su revolución contra el empirismo estéril de los aristotélicos, revolución que se basó en la convicción profunda de que las matemáticas son más que un medio formal de ordenar los hechos y son la clave misma de la comprensión de la naturaleza.

En realidad, el modo en que Crombie concibe los motivos que han inspirado la ciencia matemática moderna, no está en desacuerdo con el mío. Así, en su excelente descripción de la posición epistemológica de Galileo, dice (p. 309):

Si en la práctica Galileo juzgaba la exactitud de una «proposición hipotética» según el criterio familiar de la verificación experimental y de la simplicidad, es evidente que su finalidad no era simplemente elaborar un método práctico para «salvar las apariencias». Realmente se esforzaba por descubrir la estructura real de la natu-

[14] Tal es el punto de vista formulado por Proclo y Simplicio y al que Averroes se adhirió estrictamente.

[15] Este extraño error sobre Copérnico —al que Crombie opone además a Galileo declarando (p. 309) que «[Galileo] rehusó aceptar la declaración del propio Copérnico según la cual [su teoría] era simplemente una construcción matemática, declaración que está de acuerdo con la opinión de los astrónomos occidentales desde el siglo XIII; la teoría heliostática era [para Galileo] una opinión exacta de la naturaleza»— es el único error realmente importante que Crombie ha cometido en su excelente obra; error que corrige además él mismo en su *Augustine to Galileo,* p. 326, Londres, 1953 y 1956. En realidad, Copérnico no consideró nunca su teoría como una mera construcción matemática y no dijo nunca nada que pudiera interpretarse en este sentido. Fue Osiander y no el propio Copérnico quien expresó este punto de vista en el prefacio que escribió para la primera edición del *De revolutionibus orbium coelestium,* en 1543.

raleza, por leer en el verdadero libro del universo. Era completamente exacto que «el principal resultado de las investigaciones de los astrónomos ha sido solamente dar razón de las apariencias de los cuerpos celestes»; pero en la crítica que formuló a propósito del sistema de Tolomeo, dijo precisamente que «si satisfacía a un astrónomo solamente aritmético, no satisfacía ni contentaba a un astrónomo filósofo». Copérnico, sin embargo, había comprendido muy bien que si se podían salvar las apariencias celestes con falsas suposiciones sobre la naturaleza, se podía hacerlo mucho más fácilmente aún con suposiciones verdaderas. Así no era sólo por aplicación pragmática del principio de economía por lo que la hipótesis simple debía ser elegida. Era la Naturaleza misma, «que no hace por numerosas causas lo que puede hacer por pocas», la naturaleza misma la que ordenaba aprobar el sistema de Copérnico.

Tal era por lo menos el punto de vista de Galileo, quien estaba profundamente convencido del carácter matemático de la estructura profunda de la naturaleza (pp. 305-306):

Al concebir la ciencia como una descripción matemática de relaciones, Galileo permitió a la metodología liberarse de la tendencia hacia un empirismo excesivo, tendencia que constituía el principal defecto de la tradición aristocrática, y le dio un poder de generalización que quedaba sin embargo estrictamente relacionado con los datos de la experiencia, algo que los neoplatónicos que le habían precedido no habían alcanzado más que en contadas ocasiones. Galileo lo consiguió en primer lugar no dudando en utilizar en sus teorías matemáticas conceptos de los que ningún ejemplo había sido o podía ser observado. Exigía solamente que de estos conceptos pudieran deducirse hechos observados. Así, por ejemplo, no existe plan absolutamente perfecto ni cuerpo aislado que se mueva en un espacio euclidiano vacío, infinito, y sin embargo, fue a partir de estos conceptos como Galileo elaboró por vez primera la teoría de la inercia del siglo XVII. «Y, dice, mi admiración ya no tiene límites cuando veo cómo su razón fue capaz, en Aristarco y Copérnico, de violentar tan bien sus sentidos, que, a pesar de éstos, se hizo dueña de su credulidad.»

Está claro: la manera en que Galileo concibe un método científico correcto implica un predominio de la razón sobre la simple experiencia, la sustitución por modelos ideales (matemáticos) de una realidad empíricamente conocida, la primacía de la teoría sobre los hechos. Fue así solamente como las limitaciones del empirismo aristotélico pudieron ser superadas y como pudo ser elaborado un verdadero método *experimental*, un método en el que la teoría matemática determina la estruc-

tura misma de la investigación experimental, o para volver a tomar los términos propios de Galileo, un método que utiliza el lenguaje matemático (geométrico) para formular sus preguntas a la naturaleza y para interpretar las respuestas de ésta; la cual, sustituyendo el mundo del poco más o menos conocido empíricamente por el universal racional de la precisión, adopta la medición como principio experimental más importante. Fue este método el que, fundado en la matematización de la naturaleza, ha sido concebido y desarrollado, si no por el mismo Galileo, cuyo trabajo experimental carece prácticamente de valor y que debe su fama de experimentador a los esfuerzos infatigables de los historiadores positivistas, al menos por sus discípulos y sucesores. En consecuencia, Crombie me parece que exagera un poco el aspecto «experimental» de la ciencia de Galileo y la estrechez de las relaciones de ésta con los hechos experimentales [16]: en realidad, Galileo se equivoca cada vez que se atiene a la experiencia. Sin embargo, parece reconocer bien la transformación radical que la nueva ontología aportó a las ciencias físicas e incluso el sentido muy especial de las famosas afirmaciones, aparentemente positivistas, del gran florentino. Así, escribe (página 310):

El cambio capital introducido por Galileo, con otros matemáticos platonizantes, como Kepler, en la ontología científica, consistió en identificar la sustancia del mundo real con las entidades matemáticas contenidas en las teorías utilizadas para describir las apariencias.

Cambio realmente capital que condujo a cambios igualmente importantes de *métodos*, distintos de la pura *metodología*. Sin embargo, Crombie prefiere emplear este último término y escribe en consecuencia «nominalizando» a Galileo (páginas 305-306):

El importante resultado práctico obtenido fue abrir el mundo físico a la utilización ilimitada de las matemáticas. Galileo borró los más graves inconvenientes de la concepción de Aristóteles, según el cual había una ciencia de la «física» situada fuera del dominio de las matemáticas, declarando que las sustancias y las causas que esta física planteaba como postulados no eran más que simples palabras.

[16] Cf. mi artículo «An experiment in measurement in the XVIIth century», en los *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1952, pp. 253-283.

Resulta bastante sorprendente, después de habernos enterado por Crombie de que la ciencia moderna —la de Galileo y Descartes— no sólo utiliza modos de razonamiento completamente nuevos (de lo imposible a lo real), sino que está también fundada en una ontología completamente diferente de la de la ciencia tradicional a la que se opone, y que esta lucha contra la tradición tiene una profunda significación filosófica, leer como conclusión de sus investigaciones (p. 318) que:

A pesar de los enormes medios que las nuevas matemáticas aportaron al siglo XVII, la estructura lógica y los problemas de la ciencia experimental siguieron siendo fundamentalmente los mismos desde el principio de su historia moderna, unos cuatro siglos antes. La historia de la teoría de la ciencia experimental, de Grosseteste a Newton, es realmente una serie de variaciones sobre el tema de Aristóteles, según el cual el fin de la investigación científica era descubrir premisas verdaderas para llegar a un conocimiento demostrado de las observaciones, introduciendo el nuevo instrumento de la experiencia, y transportándolo a la clave de las matemáticas. El investigador se esforzaba por edificar un sistema verificado de proposiciones en cuyo seno la relación de lo más particular a lo más general era la de una consecuencia necesaria.

El nombre de Newton da aparentemente la clave de la afirmación de Crombie. Crombie cree realmente en la concepción positivista de Newton, a propósito del cual escribe (p. 317):

Su método matemático estaba en realidad relegado a las observaciones, del mismo modo que la «ciencia superior» matemática de los comentaristas latinos de Aristóteles, ciencia que «da la razón de tal cosa, de lo que la ciencia inferior da el hecho», pero que no habla de las causas de esta cosa.

La meta de Newton, al distinguir su «vía matemática» de «la investigación de las causas», por ejemplo, el estudio de la óptica y de la dinámica del estudio de «la naturaleza y la cualidad de la gravitación y de la luz» era, tal como lo señala Crombie, liberar su obra de toda relación con las dos ontologías científicas más populares de su época, a saber, las que derivaban de Aristóteles y Descartes, que él juzgaba que no habían sido «deducidas de los fenómenos». No era que Newton negara que «discutir las causas reales de los fenómenos pudiera ser de la competencia de la ciencia» (p. 316), sino que simplemente dudó en «afirmar que hubiera habido tal descubrimiento en ningún caso particular».

Esto es justo; no pienso, sin embargo, que Crombie haga justicia al realismo brutal que Newton combina con la creencia de que las causas reales de los fenómenos, o bien son desconocidas, o bien pertenecen a un ámbito del ser que supera al ser físico. Como, por ejemplo, el *espíritu* o los *espíritus* que originan la atracción y la repulsión y son las *fuerzas reales* que mantienen la unidad y la estructura del mundo, así como las *fuerzas reales* que unen los átomos de la materia que componen los cuerpos. Debemos tratarlos matemáticamente, nos ordena Newton, y al hacerlo no debemos ocuparnos de su naturaleza real. Pero debemos, por otro lado, tenerlas en cuenta, puesto que son todas *reales* y puesto que su determinación constituye una meta esencial en la investigación científica.

Crombie no cree que esto sea así. Juzga en consecuencia que la ciencia de Galileo y de Descartes, fundada en una ontología matemática inspirada en Platón, una ciencia que tendía a un conocimiento real, aunque naturalmente parcial y provisional del mundo real, perseguía una meta imposible e incluso falsa. Newton, que había renunciado a buscar las causas, o por lo menos había retrasado su búsqueda hasta un futuro lejano y proclamado el divorcio entre la «filosofía experimental» y la metafísica —e incluso la física—, era más sagaz: volvió a la metodología aristotélica y la epistemología nominalista de la Edad Media.

Crombie considera que la ciencia moderna es decididamente positivista. Es, por tanto, en la historia —o la prehistoria— del positivismo donde ve la progresión de la «ciencia experimental». Según él, esta historia comporta una lección filosófica (p. 319):

> La verdad filosófica que ha puesto en evidencia toda la historia de la ciencia experimental a partir del siglo XIII es que el método experimental, concebido en un principio como un método que permite descubrir las verdaderas causas de los fenómenos, demuestra ser un método que permite dar simplemente su verdadera descripción.
>
> Una teoría científica ha dado toda la explicación que podía dar de sí cuando ha puesto en correlación los datos de la experiencia del modo más exacto, completo y práctico posible. Cualquier otro problema que pudiera plantearse no podría serlo en lenguaje científico. Por su naturaleza tal descripción es provisional y el programa práctico de la investigación es sustituir las teorías limitadas por otras, cada vez más completas.

¿Aceptaremos la lección filosófico-histórica de Crombie? En lo que a mí se refiere, no pienso que debamos hacerlo. Para mí,

que no creo en la interpretación positivista de la ciencia —ni siquiera en la de Newton— la historia contada de modo tan brillante por Crombie contiene una lección muy diferente: el empirismo puro —e incluso la «filosofía experimental»— no conducen a ninguna parte, y no es renunciando a la finalidad aparentemente inaccesible e inútil del conocimiento de lo real, sino al contrario, persiguiéndola con audacia, como la ciencia progresa en el camino sin fin que la conduce a la verdad. En consecuencia, la historia de esta progresión de la ciencia moderna debería estar consagrada a su aspecto *teórico* tanto por lo menos como a su aspecto *experimental*. En realidad, como ya he dicho, y como lo demuestra bien la historia de la lógica de las ciencias relatada por Crombie, no sólo el primero está estrechamente asociado al segundo, sino que domina y determina su estructura. Las grandes revoluciones científicas del siglo XX —tanto como las de los siglos XVII o XIX—, aunque fundadas naturalmente en hechos nuevos —en la imposibilidad de verificarlos—, son fundamentalmente revoluciones teóricas cuyo resultado no consistió en relacionar mejor entre ellas «los datos de la experiencia», sino en adquirir una nueva concepción de la realidad profunda subyacente en estos «datos».

Sin embargo, las moradas del reino de Dios son numerosas. Y se puede tratar la historia de muchas maneras. Digamos, pues, que en el reino de la historia Crombie ha edificado una bella morada.

LAS ETAPAS DE LA COSMOLOGÍA CIENTÍFICA *

Masson-Oursel acaba de presentar unas concepciones del mundo en las que el hombre y el mundo forman una unidad indivisa y no están separados y opuestos el uno al otro. Es verdad que en lo que llamamos ciencia —y ciencia cosmológica— nos enfrentamos con una actitud muy diferente, con una cierta oposición entre el hombre en el mundo y el mundo en el que vive.

Si hubiera tomado al pie de la letra el título de mi ponencia: las cosmologías científicas, es decir, las que llevan hasta el fin la separación y, por tanto, la deshumanización del cosmos, verdaderamente no tendría que decir gran cosa y habría debido comenzar en seguida con la época moderna, probablemente con Laplace. A lo sumo habría podido evocar, a modo de prehistoria, las concepciones de las primeras épocas de la astronomía griega, la de Aristarco de Samos, Apolonio e Hiparco; porque las concepciones cosmológicas, incluso las que consideramos científicas, no han sido más que muy raramente — incluso casi nunca— independientes de nociones que no lo son, a saber, las nociones filosóficas, mágicas y religiosas.

Incluso en un Tolomeo, en un Copérnico, en un Kepler e incluso en un Newton, la teoría del cosmos no era independiente de estas otras nociones.

Tomaré, pues, el término «cosmologías científicas» en un sentido más amplio, capaz de englobar las doctrinas de los pensadores que acabo de citar.

Las teorías cosmológicas científicas nos llevan necesariamente a Grecia, pues parece que es en Grecia donde, por primera vez en la historia, aparece la oposición del hombre con el cosmos, que desemboca en la deshumanización de este último.

* Texto de una ponencia presentada el 31 de mayo de 1948 en la Quatorzième Semaine de Synthèse, *Revue de Synthèse* (París, Albin Michel), nouvelle série, t. 29, julio-diciembre de 1951, pp. 11-22.

Sin duda, no ha sido nunca completa, y en sus grandes metafísicas, como las de Platón y Aristóteles, y hasta en la noción misma del cosmos, nos enfrentamos con las ideas de perfección, orden y armonía que calan en él, o con la noción platónica del reino de la proporción tanto en lo cósmico como en lo social y humano, es decir, con concepciones unitarias.

Pero es aquí, en todo caso, donde me parece que ha nacido el estudio de los fenómenos cósmicos en cuanto tales y por ellos mismos.

Podemos preguntarnos, sin duda, si no debemos remontarnos mucho más atrás y si no debemos colocar el principio de la astronomía y de la cosmología científica no en Grecia, sino en Babilonia. Hay, me parece, dos razones para no hacerlo. La una se debe al hecho de que los babilonios no se liberaron de la astrobiología que acaba de evocar Masson-Oursel y de que Grecia logró hacerlo (podría ocurrir además que la astrobiología en Grecia no fuera en modo alguno un fenómeno original, sino, por el contrario, un fenómeno tardío muy posterior al origen de la astronomía). La otra razón es menos histórica: se debe a la noción misma que tenemos de la idea y del trabajo científico. Si en efecto admitiéramos de ella una cierta concepción ultrapositivista y ultrapragmatista, deberíamos decir, sin duda, que fueron los babilonios quienes empezaron; efectivamente, observaron el cielo, fijaron las posiciones de las estrellas y constituyeron sus catálogos, anotando día a día las posiciones respectivas de los planetas. Si hacemos esto cuidadosamente durante algunos siglos, al final llegaremos a tener catálogos que nos revelarán la periodicidad de los movimientos planetarios y nos darán la posibilidad de prever para cada día del año la posición de las estrellas y de los planetas que encontraremos cuando miremos al cielo. Lo cual es muy importante para los babilonios, puesto que de esta previsión de las posiciones de los planetas depende, por la vía de la astrología, una previsión de los acontecimientos que sucederán en la Tierra. Así, si previsión y predicción equivalen a ciencia, nada es más científico que la astronomía babilónica. Pero si se ve en el trabajo científico sobre todo un trabajo teórico, y si se cree —como creo yo— que no hay ciencia allí donde no hay teoría, se rechazará la ciencia babilónica, y se dirá que la cosmología científica tiene sus principios en Grecia, puesto que fueron los griegos quienes por primera vez concibieron y formularon la exigencia intelectual del saber teórico: *superar los fenómenos*, es decir, formu-

lar una teoría explicativa del dato observable; algo que los babilonios no hicieron nunca.

Insisto en la palabra «observable», pues es cierto que el sentido primero de la famosa fórmula *σώζειν τὰ φαινομένα* quiere decir justamente: explicar los fenómenos, superarlos, es decir, revelar la realidad subyacente, revelar, bajo el desorden aparente del dato inmediato, una unidad real, ordenada e inteligible. No se trata sólo como nos enseña una mala interpretación positivista muy corriente, de unirlos por medio de un cálculo a fin de obtener una previsión: se trata, en realidad, de descubrir una realidad más profunda que proporcione su explicación.

Esto es algo bastante importante, que nos permite comprender la unión esencial, a menudo olvidada por los historiadores, entre las teorías astronómicas y las físicas. Es un hecho que los grandes descubrimientos —o las grandes revoluciones en las teorías astronómicas— han estado siempre en relación con descubrimientos o modificaciones en las teorías físicas.

No puedo hacer un esbozo ni siquiera breve de esta historia extremadamente apasionante e instructiva. Quiero simplemente indicar algunas etapas de la matematización de lo real, que es el trabajo propio del astrónomo.

Ya he dicho que comienza con la decisión de descubrir bajo la apariencia desordenada un orden inteligible; así, encontramos en Platón una fórmula muy clara de las exigencias y presupuestos de la astronomía teórica: reducir los movimientos de los planetas a movimientos regulares y circulares. Programa que poco más o menos es ejecutado por su alumno Eudoxo y perfeccionado por Calipo; éstos, en efecto, sustituyen el movimiento irregular de los astros errantes por los movimientos bien ordenados de las esferas homocéntricas, es decir, encajadas unas en otras.

Se han burlado mucho —menos, ahora— de esta obsesión griega por lo circular, de este deseo de reducir todos los movimientos celestes a movimientos circulares. Yo no encuentro que esto sea ridículo ni estúpido: el *movimiento de rotación* es un tipo propio y muy notable de movimiento, el único que en un mundo finito se prosigue eternamente sin cambio, y es eso justamente lo que buscaban los griegos: algo que pudiera proseguirse o reproducirse eternamente. El gusto de los griegos por lo eterno es algo muy característico de su mentalidad científica. Los teóricos griegos no hablan nunca del origen de las cosas, o si hablan de ello, es de un modo muy consciente-

mente mítico. En cuanto a la idea de que el movimiento circular es un movimiento *natural*, parece paradójicamente confirmarse en nuestros días: el Sol gira, las nebulosas giran, los electrones giran, los átomos giran, todo gira. ¿Cómo negar que esto sea algo completamente «natural»?

Volvamos ahora a los que han intentado explicar los movimientos celestes como resultado de un encajamiento de esferas que giran unas en las otras. Tuvieron bastante éxito, a excepción de un fenómeno que no se dejaba explicar muy bien —es muy importante ver la atención prestada por los griegos a la necesidad de explicar verdaderamente un fenómeno—, a saber, la variación en la luminosidad de los planetas que tan pronto eran muy brillantes como no lo eran, hecho que no se podía explicar más que admitiendo cambios en sus distancias a la Tierra.

Esto exigió la invención de una teoría explicativa nueva, teoría llamada de los epiciclos, y de las excéntricas, que fue elaborada sobre todo por la escuela de Alejandría, por Apolonio, Hiparco y Tolomeo.

Entre las dos se establece un intermedio extraordinario: un genio de primer orden, Aristarco de Samos, plantea como hipótesis explicativa el doble movimiento de la Tierra alrededor del Sol y sobre sí misma. Es bastante curioso que no haya tenido seguidores. Tuvo un único alumno, parece. Plutarco lo dice: «Aristarco propuso esta teoría como hipótesis y Seleuco la afirmó como verdad.» El texto es importante, pues confirma el deseo y la distinción que hacían los griegos entre una simple hipótesis calculatoria y la hipótesis físicamente verdadera: la revelación de la verdad.

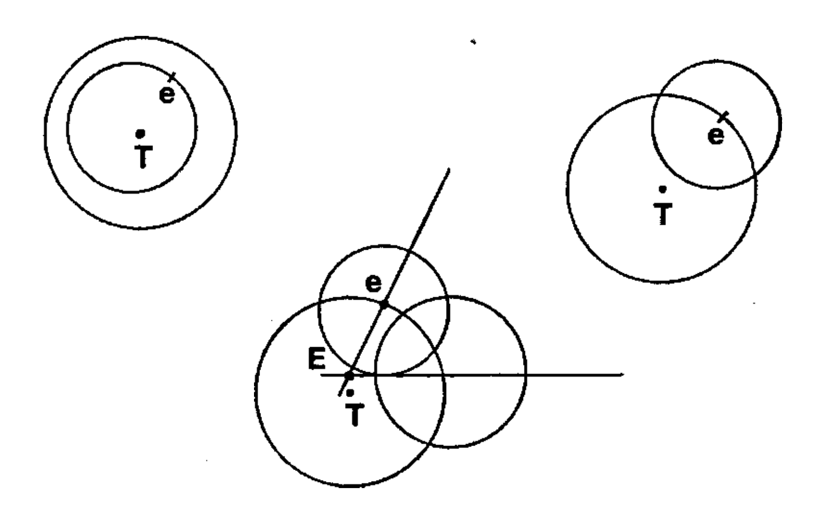
Aristarco no tuvo éxito y no se sabe por qué. Se ha dicho a veces que la idea del movimiento de la tierra contradecía demasiado las concepciones religiosas de los griegos. Pienso que fueron más bien otras razones las que determinaron el fracaso de Aristarco, las mismas sin duda que desde Aristóteles y Tolomeo hasta Copérnico se oponen a toda hipótesis no geocéntrica: la invencibilidad de las objeciones *físicas* contra el movimiento de la Tierra. Hay, ya lo he dicho, una relación necesaria entre el estado de la física y el estado de la astronomía. Ahora bien, para la física antigua, el movimiento circular (rotacional) de la Tierra en el espacio parecía —y debía parecer— oponerse a hechos indiscutibles, y contradecir la experiencia diaria; en resumen, una imposibilidad física. Otra cosa más constituía un obstáculo para la aceptación de la teoría de Aristarco, a saber, la grandeza desmesurada de su Universo; pues

si los griegos admitían que el Universo era bastante grande con relación a la Tierra —¡era incluso muy grande!—, de todas formas las dimensiones postuladas por la hipótesis de Aristarco les parecían inconcebibles. Supongo que era así, puesto que en pleno siglo XVII parecía aún imposible a mentes muy sensatas admitir tales proporciones. Se decía también —y esto es algo completamente razonable— que si la Tierra giraba alrededor del Sol, esto se vería por la observación de las estrellas fijas; que si no se aprecia ninguna paralaje es que la Tierra no gira. Admitir que la bóveda celeste sea tan grande que las paralajes de las fijas sean inobservables, parecía contrario al sentido común y al espíritu científico.

La astronomía llamada de los epiciclos debe su origen al gran matemático Apolonio y fue desarrollada por Hiparco y Tolomeo. Reinó en el mundo hasta Copérnico e incluso mucho después. Constituye uno de los mayores esfuerzos del pensamiento humano.

Algunas veces se ha hablado mal de Tolomeo y se ha tratado de rebajarle con relación a sus predecesores: creo que sin razón. Tolomeo hizo lo que pudo; si no inventó, desarrolló las ideas astronómicas de su tiempo y calculó de un modo admirable los elementos del sistema. Y si rechazó la doctrina de Aristarco, lo hizo por razones científicas.

Echemos una ojeada a la teoría en cuestión. Se había comprendido bien que la distancia de los planetas a la Tierra no era siempre la misma; era necesario, por tanto, que los planetas en su recorrido pudieran aproximarse y alejarse de la Tierra; además, era necesario explicar las irregularidades de sus movimientos —unas veces parecen ir hacia delante, otras se paran, otras van hacia atrás—: por eso se pensó en hacerles girar no en torno a un círculo, sino a dos o tres enganchando al primer círculo otro más pequeño, o colocando el mismo círculo grande en torno a uno más pequeño. El círculo que soporta se llama deferente; el círculo soportado, epiciclo. Se puede igualmente, para simplificar el mecanismo, sustituir el círculo que soporta y el epiciclo soportado por un único círculo, descentrado con relación a la Tierra, es decir, que si la Tierra se encuentra en un punto T, el gran círculo gira, no alrededor de la Tierra, sino alrededor de un punto excéntrico a éste. Las dos formas de representar los movimientos celestes son absolutamente equivalentes y pueden combinarse una con otra. Nada impide, por ejemplo, colocar un epiciclo en una excéntrica.



Poniendo los círculos unos sobre otros y haciéndoles girar a velocidades diferentes, se puede dibujar cualquier curva cerrada. Y poniendo un número suficiente de ellos se puede dibujar todo lo que se quiera: se puede incluso dibujar una línea recta o un movimiento en elipse. Evidentemente, hay que acumular a veces un número considerable de círculos, lo que complica los cálculos, pero esto, en teoría, siempre está permitido.

La teoría de los epiciclos es una concepción de una profundidad y de una potencia matemática extraordinaria, y se necesitaba todo el genio de los matemáticos griegos para poder formularla.

No había en esta teoría más que un solo punto o un solo hecho difícilmente aceptable: para no aumentar indefinidamente el número de círculos, Tolomeo debió renunciar al principio del movimiento circular uniforme, o más exactamente, encontró un medio aparente de conciliar la aceptación del principio con la imposibilidad de seguirlo realmente. Se ha dicho que se puede salir adelante admitiendo que el movimiento es uniforme, no con relación al centro del círculo mismo —los círculos no giran de un modo uniforme con relación a sus propios centros—, sino con relación a un cierto punto interior excéntrico, punto que él llamó *ecuante.*

Esto era algo muy grave, pues al abandonar el principio del movimiento circular uniforme, se abandonaba la explicación física de los fenómenos. Es justamente a partir de Tolomeo cuan-

do encontramos una ruptura entre la astronomía matemática y la astronomía física.

En efecto, mientras que los filósofos y los cosmólogos continuaban admitiendo que los cuerpos celestes se movían por movimientos uniformes de los orbes corporales, insistiendo en el valor de esta concepción desde el punto de vista físico, los astrónomos matemáticos respondían que el problema físico no les importaba y que su finalidad era determinar las posiciones de los planetas sin ocuparse del mecanismo que los llevaba al lugar determinado por el cálculo.

Yo, por mi parte, pienso que Tolomeo se decide por esta ruptura entre la astronomía física y la matemática porque cree en la astrología y porque desde el punto de vista astrológico, como desde el punto de vista práctico, era efectivamente inútil saber cómo, física y realmente, los planetas llegan a un lugar dado. Lo que es importante es saber calcular sus posiciones para poder deducir sus consecuencias astrológicas.

No quiero extenderme en este problema aunque sea importante, y aunque la divergencia entre las dos astronomías haya subsistido durante largo tiempo, en realidad hasta Copérnico y Kepler. Los astrónomos árabes, en la Edad Media, muy razonablemente, intentaron restablecer la unidad, sustituyendo las esferas u orbes corporales por los círculos puramente matemáticos de Tolomeo. En el mundo cristiano sucedió lo mismo. Cito al gran astrónomo Peurbach, quien logró constituir un modelo de los movimientos planetarios (sin poder reducir, sin embargo, estos movimientos planetarios a revoluciones uniformes), y, con un número relativamente muy pequeño de esferas materiales, explicar todos sus movimientos.

La gran revolución que desplazó a la Tierra del centro del universo y la lanzó al espacio, data de hace poco; y, sin embargo, es muy difícil comprender los motivos que guiaron el pensamiento de Copérnico. Es cierto que, por un lado, hubo un motivo físico. La imposibilidad de una explicación física, mecánica, de la astronomía de Tolomeo, ese famoso ecuante que introducía en los cielos un movimiento no uniforme, le parecía verdaderamente inadmisible; por eso su discípulo Rético nos dice que la gran ventaja de la nueva astronomía consiste en el hecho de que nos libera de los ecuantes, es decir, que nos da al fin una imagen coherente de la realidad cósmica, y no dos imágenes, una la de los filósofos y otra la de los astrónomos matemáticos, que, por lo demás, no concordaban entre sí.

Además, esta nueva imagen simplificaba la estructura general del universo explicando —y vean que es siempre la misma

tendencia: búsqueda de la coherencia inteligible de lo real, que explique el desorden del puro fenómeno— las irregularidades aparentes de los movimientos planetarios, reduciéndolos justamente a puras «apariencias» irreales; efectivamente, estas irregularidades aparentes (paradas, retrogradaciones, etc.) la mayoría de las veces resultaban ser simples efectos secundarios, a saber, proyecciones en el cielo de los movimientos de la Tierra misma.

Una tercera ventaja de esta teoría era la relación sistemática que establecía entre los fenómenos celestes por el hecho de que las apariencias, es decir, los datos de la observación relativos a los diversos planetas, se encontraban explicados, por lo menos en parte, por un único factor, el movimiento de la Tierra. Por tanto, se podían deducir de ella más fácilmente los movimientos verdaderos y los movimientos reales.

¿Cómo llegó Copérnico a su concepción? Es muy difícil de decir, porque lo que él mismo nos cuenta no lleva a su astronomía. Nos dice que encontró testimonios relativos a los autores antiguos que habían intentado explicar las cosas de un modo distinto a como lo hace Tolomeo, los cuales principalmente habían propuesto hacer del Sol el centro de los movimientos de los planetas inferiores (Venus y Mercurio) y que se dijo que se podía intentar hacer lo mismo para los otros.

Pero esto le habría llevado a constituir una astronomía del tipo de la que Tycho Brahe desarrolló después de él. Además, es curioso constatar que nadie intentó hacer esto antes que Copérnico. Esto es algo que lógicamente debería colocarse entre Tolomeo y Copérnico. Lo cual nos enseña que la historia del pensamiento científico no es enteramente lógica. Por eso, para comprender su evolución hay que tener en cuenta factores extralógicos. Así, una de las razones —probablemente la más profunda— de la gran reforma astronómica operada por Copérnico, no era del todo científica.

Pienso, por mi parte, que si Copérnico no se detuvo en el estadio tycho-brahiano —admitiendo que lo hubiera considerado alguna vez—, fue por una razón de estética o de metafísica, por consideraciones de armonía. Siendo el Sol la fuente de la luz, y siendo la luz lo más bello y mejor del mundo, le parecía conforme a la razón que rige al mundo y que lo crea, que esta luminaria estuviera colocada en el centro del universo que se encarga de iluminar. Copérnico lo dice expresamente y creo que no hay ninguna razón para no creer en su adoración al Sol, sobre todo cuando el gran astrónomo que es Kepler, el que

inaugura verdaderamente la astronomía moderna, es todavía más heliólatra que Copérnico.

No puedo dejar de mencionar a Tycho Brahe, cuyo sistema astronómico, que habría debido aparecer antes de Copérnico, es un exacto equivalente de este último, con la diferencia de que Tycho Brahe admite que la Tierra es inmóvil y que el Sol, con todos los planetas que giran alrededor de él, gira alrededor de la Tierra.

¿Qué razones tenía para retroceder con relación a Copérnico? Creo que se vio llevado por dos clases de consideraciones de orden muy diferente: sus convicciones religiosas, por un lado, que no le permitían aceptar una doctrina contraria a las Sagradas Escrituras, y, por otro, la imposibilidad de admitir el movimiento de la Tierra desde el punto de vista de la física. Por eso insiste en las objeciones físicas contra este movimiento, en lo que, por otro lado, tiene razón: las objeciones físicas contra el movimiento de la Tierra eran irrefutables antes de la revolución científica del siglo XVII.

Me queda aún hablar de Kepler, cuya obra tampoco es enteramente científica y que está profundamente inspirada en la idea de la armonía, en la idea de que Dios ha organizado el mundo según las leyes de la armonía matemática; esto es para Kepler la clave de la estructura del Universo. En cuanto a los lugares respectivos que atribuye al Sol y a la Tierra es, por supuesto, copernicano y por la misma razón que Copérnico: el Sol para él representa a Dios, es el Dios visible del universo, símbolo del Dios creador que se expresa en el universo creado, y es por esto por lo que es necesario que esté en el centro de éste.

Sobre esta base metafísica Kepler edifica su obra científica, la cual, tanto en sus intenciones como en sus resultados, supera con mucho la de Copérnico. En efecto, la finalidad que persigue Kepler es muy ambiciosa y muy moderna: quiere reconstituir (o, más exactamente, establecer) la unidad de la concepción científica del mundo, la unidad entre la física y la astronomía. Por ello, la gran obra astronómica, la obra fundamental de Kepler, consagrada al planeta Marte, se llama *Astronomia nova* Αἰτιολογήτος *seu physica coelestis* (*La astronomía nueva o física celeste).*

El razonamiento de Kepler está guiado por la idea de la explicación causal: si el Sol se encuentra en el centro del mundo, es necesario que los movimientos de los planetas no estén ordenados con relación a él de un modo geométrico u óptico —como en Copérnico—, sino que lo estén también de un modo

físico y dinámico. El esfuerzo de Kepler consiste de este modo en encontrar no sólo una concepción astronómica que permita ordenar y «superar» los fenómenos, sino también una concepción física que permita explicar por causas físicas el movimiento real de los cuerpos celestes en el mundo.

También insiste en el prefacio de la *Astronomia nova* en la necesidad de esta unificación de la física celeste y de la física terrestre, en el hecho de que el Sol no es simplemente el centro del mundo y que no se limita a iluminar dejando marchar fuera e independientemente de él los mecanismos motores de los planetas, cada uno completo en sí mismo, sino que debe ejercer una influencia física en los movimientos de los cuerpos astrales.

No tengo, desgraciadamente, tiempo de decirles más sobre la estructura del pensamiento de Kepler y la elaboración técnica de su doctrina. Lo que es curioso y divertido es que Kepler, en la deducción de las famosas leyes que llevan su nombre y que todo el mundo conoce, a saber, que los cuerpos celestes se mueven en elipses y que los espacios barridos por sus radios vectores son proporcionales al tiempo, comete un doble error. Pero los errores se compensan, de forma que su deducción llega a ser exacta gracias precisamente a este doble error.

Probablemente porque Kepler quería, desde el principio, encontrar una solución nueva al problema de los movimientos planetarios, una física celeste, una astronomía causal (Αἰτιολογήτος), no intentó —lo que era factible—, después de haber encontrado que la trayectoria real de Marte era una elipse, reproducir esta elipse por una combinación de círculos, sino que sustituyó en seguida el mecanismo de los círculos, esferas u orbes que guían y transportan los planetas por la idea de una fuerza magnética que, emanando del Sol, dirige sus movimientos.

Se podría decir, lanzando una mirada de conjunto a la evolución del pensamiento astronómico, que se esforzó primeramente en descubrir la realidad ordenada de los movimientos de los astros subyacente en el desorden de las apariencias. Para hacerlo, los griegos emplearon los únicos medios matemáticos y físicos que les permitía el estado de los conocimientos científicos de su época, es decir, la idea del movimiento natural circular; de ahí la necesidad de explicar los movimientos aparentes por una superposición y acumulación de movimientos circulares. El fracaso de Tolomeo acabó por necesitar una transformación de la física misma, y la astronomía no triunfó con Kepler y tampoco con Newton más que fundándose en una física nueva.

Se podría concebir igualmente esta evolución bajo el aspecto del estudio de las dimensiones del Universo. Ya he dicho que el universo griego, el cosmos griego (y medieval) era finito; era sin duda bastante grande —con relación a las dimensiones de la Tierra—, pero no lo suficiente como para poder alojar en él una Tierra móvil, una Tierra que gira alrededor del Sol. La concepción de la finitud necesaria del universo estelar, del universo visible, es completamente natural: *vemos* una bóveda celeste; podemos concebirla como muy lejana, pero es extremadamente difícil admitir que no existe y que las estrellas están distribuidas en el espacio sin orden, sin ton ni son, a distancias inverosímiles y diferentes las unas de las otras. Esto implica una verdadera revolución intelectual.

Las objeciones a la infinitud e incluso a la extensión desmesurada del universo son de un alcance considerable; por eso se encuentran a lo largo de toda la historia de la astronomía. Así, Tycho Brahe objeta a Copérnico que en su sistema, la distancia entre el Sol y las estrellas sería *como mínimo* 700 veces la distancia del Sol a la Tierra, lo que le parece absolutamente inadmisible y en absoluto requerido por los datos de la observación (no armada de telescopios). Ahora bien, es en virtud de razones análogas por lo que Kepler, que admite el movimiento orbital de la Tierra y en consecuencia está obligado a extender las dimensiones de nuestro universo en la medida necesaria para explicar la ausencia de paralajes de las estrellas fijas, no puede de todos modos admitir la infinitud del mundo. La bóveda celeste o nuestro mundo celeste sigue siendo para él necesariamente finito. El mundo celeste es inmensamente grande; su diámetro equivale a seis millones de veces el diámetro terrestre, pero es finito. La infinitud del mundo es metafísicamente imposible. Además, no parece imponerla ninguna consideración científica.

Giordano Bruno es casi el único en admitirla; pero justamente Bruno no es ni astrónomo ni sabio; es un metafísico cuya visión del mundo se adelanta a la de la ciencia de su tiempo. Pues sólo con Newton, por razones científicas, sin duda, puesto que la física clásica, la física galileana, postula la infinitud del universo y la identidad del espacio real con el de la geometría, pero también por razones teológicas, se encuentra afirmada la infinitud del universo astral.

LEONARDO DA VINCI, 500 AÑOS DESPUÉS *

«De vez en cuando el cielo nos envía a alguien que no sólo es humano, sino también divino, de modo que a través de su espíritu y la superioridad de su inteligencia podamos alcanzar el cielo.» Así es como Vasari comienza su biografía de Leonardo da Vinci. Tales eran los sentimientos de los contemporáneos de Vasari con respecto al gran florentino, tales habrían sido, sin duda, aunque formulados de otro modo, los sentimientos de nuestros contemporáneos: sentimientos de respeto, de admiración, incluso de veneración por el gran artista, por el gran sabio del Renacimiento.

Es por lo que en 1952, quinientos años después del nacimiento de Leonardo da Vinci, ha habido en el mundo entero, en Italia, Francia, Inglaterra, Estados Unidos, un gran número de celebraciones y conmemoraciones de este acontecimiento, e incluso un cierto número de ocasiones en las que artistas, historiadores, sabios y hombres de ciencia se han reunido no sólo para conmemorar, sino también para comparar sus puntos de vista y elaborar juntos una mejor comprensión de Leonardo da Vinci, una mejor apreciación del lugar que debe asignársele en la historia del espíritu humano.

Interpretar el papel de un gran hombre en la historia es siempre una tarea difícil. Ni que decir tiene que un gran hombre pertenece a su época, y, sin embargo —y precisamente por esto le llamamos «grande»— no pertenece a esta época, al menos por completo, sino que la trasciende y le impone su propia impronta. Transforma por así decir su pasado y modifica su futuro.

Con el fin de situarlo exactamente, debemos confrontarlo con sus predecesores, sus contemporáneos y sus sucesores, tarea difícil y complicada que se hace tanto más difícil cuanto

* Texto inédito de una conferencia pronunciada en Madison (Wisconsin) en 1953, traducido del inglés por D. K.

mayor es el hombre del que hablamos en sus aspiraciones, su pensamiento y su obra.

Esto llega a ser abrumador cuando se trata de Leonardo, un genio universal, si es que alguna vez los hubo.

Además, en este caso estamos ante una dificultad particular y única en su género; no hay un solo Leonardo da Vinci, hay dos.

Está, por un lado, el Leonardo da Vinci que podría llamar hombre «público» u hombre «exterior». El inteligente adolescente nacido el 15 de abril de 1452, hijo de Ser Piero da Vinci, que a la edad de catorce o quince años se convirtió en alumno, o más bien en aprendiz, de Andrea Verrocchio y después en su socio.

Está el joven apuesto, brillante y dotado de dones excepcionales, músico, pintor, escultor, arquitecto, ingeniero, a quien Lorenzo el Magnífico puso en 1481 a disposición de Ludovico Sforza, apodado el Moro, duque reinante en Milán. Ingresado al servicio de este último en 1482, le sirvió durante casi veinte años, hasta su caída con la toma de Milán por los franceses. Trabajó para él como una especie de «hombre para todo»: como maestro de ceremonias, organizando espectáculos y fiestas, como ingeniero e inspector, abriendo canales y construyendo fortificaciones y fosos, como artista, haciendo para Ludovico el retrato de su cuñada Isabel d'Este y también los de sus bellas amantes Cecilia Callerani (1485) y Lucrecia Crivelli (1495); pero primero, y ante todo, como escultor, trabajando durante años en la gran estatua de Francisco Sforza, la cual, superando en dimensiones las de Donatello y Verrocchio, debía dar a conocer al mundo el poderío de la dinastía de los Sforza y la gloria de Leonardo.

Es el hombre que al mismo tiempo que trabajaba para Ludovico el Moro pintó *La cena* y *La Virgen de las Rocas* para los dominicos de Santa Maria delle Grazie; que más tarde, en Florencia, donde volvió después de la caída de su señor, pintó *La Sagrada Familia, Leda, Mona Lisa* y *La batalla de Anghiari,* estableciendo así su reputación de mejor pintor de su época.

Es el hombre que sirvió a César Borgia y que en 1507 volvió a Milán a trabajar, esta vez para los franceses, para Carlos de Amboise y el mariscal Trivulzio; después, obligado a marcharse cuando los franceses abandonaron la ciudad, fue a Roma a servir a los Médicis, al papa León X y, por último, cansado pero no destrozado, vencido por el mundo pero no desalentado, aceptó en 1515 la invitación del rey de Francia, Francisco I, y

pasó los últimos años de su vida en Cloux, cerca de Amboise, donde murió apaciblemente el 2 de mayo de 1519.

Hasta aquí tenemos al hombre público o exterior que el siglo XIX considera con admiración como el mayor representante de su época, el artista y artesano incomparable, ejemplo perfecto del individualismo libre y creador, que se afirma en obras de una perfección y de una belleza imperecederas.

Figura trágica al mismo tiempo, pues el destino ha sido duro para este hombre público y para sus obras. Se han perdido algunos retratos. También se han perdido los famosos dibujos de *La batalla de Anghiari. La cena* se deteriora. La gran estatua de Francisco Sforza, Il Cavallo, no fue nunca vaciada: no hubo dinero para pagar el metal, o más bien el metal era necesario para armas. En cuanto al modelo de arcilla que fue erigido en 1493 en el pedestal donde debía colocarse el monumento en bronce, desapareció sin dejar huellas bajo la acción conjunta de la lluvia y las flechas de los soldados del mariscal Trivulzio, que lo utilizaron como blanco para sus tiros.

Por grande que sea este hombre público, no es todo Leonardo. Hay otro, el hombre «interior», el hombre secreto. El hombre que Francisco I llamaba respetuosamente «mi padre» y del que decía a Benvenuto Cellini, veinte años después de la muerte de Leonardo, que éste no solamente era el hombre que conocía mejor que nadie la escultura, la pintura y la arquitectura, sino también, y ante todo, un excelente filósofo; el hombre que había llenado de notas y de ensayos filosóficos y científicos innumerables hojas de papel y las había cubierto de dibujos geométricos, mecánicos, anatómicos, de proyectos de libros a escribir y máquinas a construir; el hombre que escribió estas notas y estos ensayos en caracteres invertidos que no podían ser descifrados más que en un espejo, para protegerlos de miradas indiscretas, y que además los guardó en secreto y no los mostró nunca a nadie, o por lo menos muy raramente. Así, en 1517, se los hizo ver a Antonio de Beatis, secretario del cardenal de Aragón, quien, a continuación, hizo un informe para su señor, señalando que estos manuscritos eran bellísimos y que podrían ser muy útiles si se publicaban.

Estos documentos no se editaron nunca. En lugar de dejárselos a Francisco I, que por lo menos los habría guardado agrupados todos juntos, Leonardo, antes de morir, los legó en testamento a Francisco Melzi, su *domesticus,* alumno, secretario y amigo. Melzi los llevó a Italia, e igual que su señor, los guardó casi en secreto. Después de su muerte pasaron a sus herederos, quienes perdieron una parte y, por último, a finales del

siglo XVI, vendieron lo que quedaba a un tal Pompeo Leoni, escultor italiano al servicio de la corte de España.

El resto de la historia de estos papeles es más bien complicada y demasiado larga para ser contada aquí. Se encontraron en España, después de nuevo en Italia, antes de que se dispersaran entre París y Windsor, Turín y Milán; lo que importa es que, con excepción de las partes de los manuscritos sobre pintura que sirvieron de base al *Trattato della Pittura*, publicado en París en 1651, del manuscrito que lleva el nombre de «Arundel» (Tomas Howard, Lord Arundel, lo llevó en 1638 de España a Inglaterra, donde el antropólogo alemán Blumenbach lo vio en 1788) y de un cierto número de páginas sobre problemas científicos que Libri sustrajo de los Archivos del Instituto de Francia y que mencionó en su *Historia de las ciencias matemáticas en Italia* en 1841, todos los otros manuscritos siguieron siendo desconocidos.

Hasta el último cuarto del siglo XIX no fueron descubiertos algunos de estos manuscritos en las grandes bibliotecas, donde dormían apaciblemente desde hacía varios siglos; fueron transcritos, traducidos y finalmente publicados por Jean-Paul Richter (1888), Ravaisson-Mollien, Mac Curdy y otros.

La impresión producida por estas publicaciones fue considerable. El personaje de Leonardo adquirió proporciones sobrehumanas. Fue proclamado el mayor espíritu moderno, fundador de las técnicas y de la ciencia modernas, precursor de Copérnico, de Vesalio, de Bacon y de Galileo, apareciendo milagrosamente como un *proles sine matre* al comienzo del mundo moderno.

Después, en los primeros años del siglo XX, el gran sabio y erudito francés Pierre Duhem, a quien debemos el redescubrimiento de la ciencia medieval, publicó su célebre obra *Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu* (1906-1913), en la que intentó destruir la imagen más bien mítica de Leonardo que acabo de evocar, sustituyéndola por otra, estrictamente histórica.

El libro de Duhem es el punto de partida de toda investigación moderna, y, en comparación con sus inmensos méritos, poco importa que, deslumbrado y arrebatado por su doble descubrimiento, por un lado el de la ciencia medieval y por otro el de los elementos medievales en el pensamiento de Leonardo, nos haya presentado finalmente una imagen extraña y paradójica de este último: la imagen de un Leonardo que no era sólo un hombre de ciencia, sino también un sabio tan grande como el mismo Duhem: un Leonardo, último fruto de la tradición

medieval, sobre todo de la de los nominalistas parisienses, que había estudiado cuidadosamente y que había preservado y transmitido a través de sus manuscritos a los hombres de ciencia del siglo XVI e incluso del XVII. Leonardo ya no aparecía como un genio único, tal como lo habían visto los historiadores del siglo XIX. Por el contrario, en la concepción de Duhem, se convirtió en un lazo (el lazo más importante) entre la Edad Media y la Edad Moderna, estableciendo así de nuevo la unidad y la continuidad del desarrollo del pensamiento científico.

Los eruditos contemporáneos, a la vez que reconocen numerosos elementos medievales en el pensamiento de Leonardo da Vinci (efectivamente, su dinámica, su concepción de la ciencia, el papel atribuido a las experiencias y a las matemáticas, tienen contrapartidas medievales), no han aceptado la imagen trazada por Duhem.

Nosotros, que gracias al movimiento desencadenado por Duhem, conocemos el pensamiento de la Edad Media y el del Renacimiento mejor de lo que habría podido conocerlos él, nos hemos dado cuenta de que para impregnarse de la tradición medieval, Leonardo no necesitó meditar sobre los manuscritos y los *incunabula* de Alberto de Sajonia o de Bradwardine, de Nicolás Oresme o de Buridán, de Suisset o de Nicolás de Cusa, aunque probablemente leyera u hojeara alguno de ellos. En efecto, esta tradición antiaristotélica, la tradición de la dinámica basada en el concepto del *impetus*, fuerza, potencia motriz presente en el cuerpo en movimiento, que los nominalistas parisienses oponían a la dinámica de Aristóteles [1], estaba en el

[1] Según la dinámica de Aristóteles, todo movimiento violento implica la acción continua de un motor unido a un cuerpo movido. No hay movimiento sin motor: separémosles, y el movimiento se detendrá. Así, si se deja de tirar de un coche o de empujarlo, dejará de moverse y se detendrá.

Excelente teoría que explica bastante bien la mayoría de los fenómenos de la vida cotidiana, pero que encuentra mayores dificultades en los casos en que los cuerpos continúan moviéndose, incluso cuando ya no son empujados o arrastrados por un motor: flechas lanzadas por un arco, piedras arrojadas con la mano.

Esta es la razón de que la crítica de la dinámica de Aristóteles haya estado siempre centrada en el problema *a quo moveantur proiecta?*: ¿qué es lo que hace moverse al objeto lanzado? Para explicar este movimiento los nominalistas parisienses adoptaron la teoría del *impetus*, fuerza motriz transmitida por el motor al cuerpo movido, fuerza que permanecía en el cuerpo movido del mismo modo que permanece el calor en el cuerpo calentado y se convertía así en cierto modo en un motor interior que continúa su acción sobre el cuerpo después de que éste se haya separado de su primer motor.

aire; era una tradición aún viva, que se encontraba tanto en la enseñanza universitaria como en los libros populares en lengua vulgar —particularmente en italiano—, cuya importancia y amplia difusión sabemos apreciar ahora.

Sabemos también que para volver a encontrar esta tradición los hombres de ciencia del siglo XVI, los Bernardino Baldi, Cardano, Tartaglia o Benedetti, no tenían necesidad de buscar en los manuscritos de Leonardo: podían encontrarla más fácilmente en un gran número de libros impresos de nuevo.

La concepción de Duhem, aunque subrayaba la continuidad del desarrollo histórico, tuvo el resultado paradójico de presentar a Leonardo como un espíritu medieval tardío más o menos aislado en su tiempo.

Historiadores más recientes tienden a establecer una unión más estrecha entre Leonardo y su época. Nos hacen observar la existencia de una literatura científica y técnica en lengua vulgar que acabo de mencionar. Subrayan en particular que la disección de los cuerpos humanos era bastante frecuente en el siglo XV y a principios del XVI. Ponen también en relación los estudios técnicos y los dibujos de Leonardo con el vivísimo interés por estas cuestiones en esta época, época mucho más avanzada respecto a esto de lo que se creía hasta hace algún tiempo; efectivamente, un gran número de máquinas representadas en los dibujos de Leonardo parecen no haber sido imaginadas por él, sino ser diseños de objetos que existían, que él había podido ver y que probablemente había visto a su alrededor. Otros sabios, en violenta reacción contra la tentativa de Duhem por medievalizar a Leonardo y hacer de él un erudito «ratón de biblioteca», tienden a relacionarle directamente con los griegos: con Arquímedes, por quien Leonardo mostró efectivamente un profundo interés; con Euclides, de quien intentó a todas luces copiar el método. En cuanto a los otros, están inclinados a aceptar la opinión de los contemporáneos de Leonardo: *uomo senza lettere*, es decir, sin cultura.

De este modo sustituyen la imagen que da Duhem de un Leonardo que había leído todo y a quien todo el mundo había leído por la de un Leonardo que no había leído nada y a quien nadie había leído. Me parece que en su reacción contra la teoría de Pierre Duhem, los investigadores contemporáneos han ido demasiado lejos. En efecto, Leonardo es un *uomo senza lettere*: nos lo dice él mismo al añadir, sin embargo, que fueron sus enemigos quienes le llamaron así y al reivindicar contra ellos los derechos superiores de la experiencia. Sin embargo, ¿qué quiere decir todo esto? Yo creo que nada, excepto que no

era «hombre de letras», un humanista, que carecía de cultura literaria, que no cursó nunca estudios universitarios, que no sabía griego ni latín, que no podía emplear el florido y refinado italiano de la corte de los Médicis o de los Sforza, o de los miembros de la Academia. Ciertamente, todo esto es verdad. En efecto, según el último editor de sus escritos, su lengua es la de un granjero o un artesano toscano, su gramática es incorrecta, su ortografía es fonética. En resumen, esto significa que aprendió todo por sí mismo. Pero autodidacto no significa ignorante, y *uomo senza lettere* no puede traducirse por *persona iletrada,* sobre todo en este caso. No debemos admitir, por tanto, que, porque no podía *escribir* en latín, no pudiera tampoco leer en esta lengua. Si no obstante, aunque quizás no lo hiciera muy bien, pudo leer a Ovidio, lo que sin duda hizo, pudo serle mucho menos difícil leer un libro de ciencias —geometría, óptica, física o medicina—, temas que conocía perfectamente. Las obras científicas son efectivamente fáciles de leer, con tal de que su tema sea familiar al lector. Donde se encuentran dificultades es en los textos literarios.

Me pregunto además si, impregnados como estamos por nuestra tradición intelectual, académica y visual a la vez, podemos imaginar siempre las condiciones en las que el conocimiento, o por lo menos una cierta clase de conocimiento, podía ser adquirido y transmitido durante las épocas que precedieron a la nuestra. El gran historiador Lucien Febvre, que tanto hizo por la renovación de los estudios históricos en Francia, tenía la costumbre de insistir en la diferencia entre nuestra estructura mental —o por lo menos nuestros hábitos mentales, hábitos de los pueblos que leen en *silencio* y que aprenden todo visualmente— y la o las de la gente en la Edad Media e incluso de los siglos XV y XVI, que leían en *voz alta,* que tenían que *pronunciar* las palabras y aprender todo, o por lo menos la mayor parte de las cosas que sabían, *de oído.* Estas personas, para quienes no sólo la fe —*fides*—, sino también el conocimiento —*scientia*— era *ex auditu,* estas personas no creían que tuvieran que leer un libro con el fin de saber de lo que se trataba, mientras hubiera alguien que se lo enseñara de viva voz.

Por ello, no debemos minimizar todo lo que el joven Leonardo habría podido aprender de oídas en Florencia —los florentinos son más bien charlatanes— sobre Ficino y Pico y sobre las Actas de la Academia, sin haber tenido nunca necesidad de abrir sus grandes infolios. De oídas habría podido aprender suficientemente sobre el conocimiento del mundo: una mezcla de

platonismo y escolástica, de magia y hermetismo, para hacer de ello una libre elección.

No debemos minimizar tampoco los conocimientos filosóficos y científicos que habría podido adquirir en Milán a través del *commercium* (contacto) con sus amigos Marliani, médico célebre, descendiente de una especie de dinastía de científicos; Lucas Pacioli, matemático, autor de una inmensa *Summa* de aritmética, álgebra y geometría, escrita además en italiano y no en latín, que Leonardo compró en Padua en 1494, o incluso con los partidarios y discípulos de Nicolás de Cusa, de los que había un cierto número en Milán, como hoy se sabe. Habrían podido, y lo hicieron ciertamente, enseñarle textos importantes y contarle muchas cosas relativas a las discusiones medievales entre los partidarios de la dinámica aristotélica pura y los de la teoría del *impetus* adoptada por Nicolás de Cusa, así como por Juan Marliani, tío de su amigo.

Habrían podido hablarle también de las discusiones concernientes a la *unidad* y *pluralidad* de los mundos, cuestión calurosamente debatida durante la Edad Media, y en la que los filósofos medievales, por razones teológicas, con el fin de no limitar la omnipotencia divina, defendieron contra Aristóteles y sus *sequaces* la tesis de la pluralidad, o por lo menos de la posibilidad de pluralidad de los mundos, de los que decían que Dios habría podido crear tantos como hubiera querido, aunque realmente no haya creado más que uno solo.

Es inconcebible que Leonardo no haya oído hablar de estas cosas, aunque no haya leído el texto de estas discusiones. Por mi parte, creo que el dilema «ratón de biblioteca», que repite lo que ha leído, o puro genio original, que crea e inventa todo, es un falso dilema: tan falso como las imágenes contradictorias de un Leonardo filósofo y sabio, o practicón ignorante. Estas dos imágenes provienen de una proyección en el pasado de las condiciones preponderantes en nuestra época. En efecto, estamos tan acostumbrados a aprender todo en la escuela —ciencias y artes, medicina y derecho—, que olvidamos fácilmente que hasta el siglo XIX, e incluso más tarde, los técnicos, ingenieros, arquitectos, constructores de navíos e incluso máquinas, sin hablar de los pintores y escultores, no se instruían en escuelas, sino que aprendían su oficio sobre el terreno, en los talleres.

Olvidamos, igualmente, o no lo comprendemos suficientemente bien, que por toda esta serie de razones precisas, los talleres de un Ghiberti, de un Brunelleschi o de un Verrocchio eran a la vez lugares donde se aprendía una enorme cantidad

de cosas. Tantas, si no más, como se aprenden hoy en la escuela: el cálculo, la perspectiva —es decir, la geometría—, el arte de tallar las piedras y de vaciar el bronce, el arte de dibujar un mapa y el de fortificar una ciudad, el arte de construir bóvedas y el de abrir canales.

No eran ignorantes estos «iletrados» instruidos en estos famosos talleres, y si su saber era sobre todo empírico, no era en ningún caso despreciable. Por eso Leonardo tenía perfectamente razón al oponer los conocimientos que había adquirido por la experiencia a la ciencia libresca de sus adversarios humanistas. Además, estos talleres, el de Verrocchio sobre todo, eran mucho más que lugares donde se conservaba y mantenía una habilidad tradicional: eran, por el contrario, lugares donde se estudiaban problemas antiguos y nuevos, donde se discutían y aplicaban nuevas soluciones, donde se hacían experiencias y donde se estaba impaciente por aprender todo lo que pasaba en otras partes.

El taller de Verrocchio no explica el milagro de Leonardo —nada explica el milagro de un genio—; pero, sin embargo, fue este taller el que le formó y dio a su inteligencia una cierta orientación que le llevó a la *praxis* y no a la *teoría* pura.

Esta tendencia práctica es bastante importante para permitirnos comprender y apreciar la obra científica de Leonardo da Vinci.

Efectivamente, es mucho más un ingeniero que un hombre de ciencia. Un ingeniero artista, por supuesto. Semejante a Verrocchio, al que George Sarton denominó el San Juan de Leonardo: semejante a Alberti o a Brunelleschi; un tipo de espíritu en el que el del Renacimiento encuentra una de sus mejores y más atractivas encarnaciones.

Leonardo, hombre del Renacimiento... ¿No es demasiado simple? ¿No he subrayado yo mismo la oposición entre Leonardo y los sabios eruditos y hombres de letras del *Quattrocento*? Ciertamente lo he hecho, y estoy dispuesto a admitir que en gran medida el espíritu y la obra de Leonardo rebasan el Renacimiento e incluso se oponen a él. Se oponen sobre todo a las tendencias míticas y mágicas del espíritu del Renacimiento, de las que Leonardo está completamente liberado.

Sé también que el concepto mismo de *Renacimiento*, por muy claramente que haya sido determinado por un Burckhardt o un Wölfflin, ha estado sometido a una crítica tan extremada por los eruditos de nuestra época, que éstos lo han destruido casi, al descubrir fenómenos típicos del Renacimiento en la

Edad Media, y viceversa, gran número de elementos medievales en el pensamiento y en la vida del Renacimiento.

Me parece, sin embargo, que el concepto de Renacimiento, a pesar de la crítica a la que ha estado sometido, no puede ser rechazado: que el fenómeno histórico que designa posee una unidad real aunque evidentemente compleja: todos los fenómenos históricos son complejos y los elementos idénticos o análogos producen en diferentes combinaciones o diferentes mezclas resultados diferentes.

Por eso me siento autorizado a sostener que Leonardo da Vinci, por lo menos en ciertos rasgos de su personalidad —un genio, vuelvo a repetir, no pertenece nunca completamente a su época— es un hombre del Renacimiento y representa incluso sus más significativos y fundamentales aspectos.

Es un hombre del Renacimiento por la vigorosa afirmación de su personalidad, por el universalismo de su pensamiento, y por su curiosidad, por su directa y aguda percepción del mundo *visible*, su maravillosa intuición del espacio, su sentido del aspecto dinámico del ser. Se podría decir incluso que en ciertos aspectos, en su humanismo —aunque sea moderno por su rechazo de la autoridad y del saber libresco—, en su evidente indiferencia hacia la concepción cristiana del universo, algunas de las más profundas tendencias del Renacimiento encuentran su realización en el espíritu de Leonardo.

Pero volvamos a nuestro punto de partida. Leonardo, como he dicho, es un ingeniero artista. Sin duda alguna, uno de los más grandes que nunca haya visto el mundo. Es un hombre de *praxis*, es decir, un hombre que no construye teorías, sino objetos y máquinas, y que la mayor parte de las veces piensa como tal. De ahí viene su actitud casi pragmática con respecto a la ciencia, que para él no es sujeto de contemplación, sino instrumento de acción.

Incluso en matemáticas, es decir, en geometría, aunque le debemos algunos descubrimientos puramente teóricos, tales como la determinación del centro de gravedad de la pirámide, y algunos teoremas curiosos sobre las lúnulas, su actitud es generalmente la de un ingeniero: lo que busca son soluciones prácticas, soluciones que pueden ser llevadas a cabo en *rerum naturae* por medio de instrumentos mecánicos. Si éstas no son siempre estrictamente correctas, sino únicamente aproximativas, piensa que no tiene importancia con tal de que estén lo más cerca posible desde el punto de vista de la *praxis*: efectivamente, ¿por qué habríamos de preocuparnos por diferencias teóricas, si éstas son tan insignificantes que ni un ojo humano,

ni un instrumento pueden descubrirlas jamás? Así, la geometría de Leonardo da Vinci es, la mayor parte de las veces, dinámica y práctica.

En este aspecto, no hay nada más característico que su modo de tratar o resolver el viejo problema de la cuadratura del círculo. Leonardo lo resuelve haciendo rodar el círculo sobre una línea recta... Solución elegante y fácil, que desgraciadamente no tiene nada que ver con el problema planteado y tratado por los geómetras griegos. Pero desde el punto de vista de la *praxis*, ¿por qué no emplear métodos poco ortodoxos? ¿Por qué habríamos de limitar nuestras maneras y medios de obrar? ¿Por qué habría de estar permitido trazar líneas rectas y círculos, y no hacer rodar estos últimos sobre estas líneas? ¿Por qué habríamos de ignorar u olvidar la existencia de las ruedas? Ahora bien, si la geometría de Leonardo es de orden *práctico*, no es en modo alguno *empírica*. Leonardo no es un empirista. A pesar de su profunda comprensión del papel decisivo y de la importancia predominante de la observación y la experiencia en la prosecución del conocimiento científico, o quizá, justamente *por esto*, no ha subestimado nunca el valor de la teoría. Por el contrario, la coloca muy por encima de la experiencia, cuyo mérito principal consiste justamente, según él, en permitirnos elaborar una buena teoría. Una vez elaborada esta teoría (buena, es decir, matemática), absorbe e incluso sustituye a la experiencia.

En la obra científica de Leonardo, esta exaltación del pensamiento teórico sigue siendo, por desgracia, algo teórica. No puede ponerla en práctica, no ha aprendido a pensar de un modo abstracto. Tiene un maravilloso don de intuición, pero no puede hacer una deducción correcta a partir de los principios que capta instintivamente, de modo que no puede formular la ley de la aceleración de la caída de los cuerpos aunque sea capaz de comprender la verdadera naturaleza de este tipo de movimiento; de este modo, no puede enunciar como principio abstracto el principio de igualdad de la acción y la reacción que aplica instintivamente en su análisis de casos concretos —o más exactamente, semiconcretos— de percusión de los cuerpos, que trata con una precisión extraordinaria y que nadie igualará durante más de un siglo.

Hay, sin embargo, un campo de conocimiento en el que el modo concreto de pensar de Leonardo no era una desventaja: es el de la geometría. Efectivamente, Leonardo es un geómetra nato, y posee en el más alto grado el don —don extremadamente raro— de la intuición del espacio. Este don le permite superar su falta de formación teórica. No trata sólo toda clase

de problemas relativos a las lúnulas y a la transformación de las figuras y cuerpos unos en otros, la construcción de figuras regulares y la determinación de los centros de gravedad, fabricando compases para trazar secciones cónicas, sino que también, como ya he dicho, logra hacer algunos verdaderos descubrimientos.

Al mismo tiempo, y esto me parece muy importante, en él la geometría domina a la ciencia del ingeniero. De este modo, su geometría es frecuentemente la de un ingeniero, y viceversa, su arte de ingeniero es siempre el de un geómetra. Precisamente por esta razón, prohíbe ejercer este arte e incluso enseñarlo a los que no son geómetras. «La mecánica —nos dice— es el paraíso de las ciencias matemáticas.» La mecánica, es decir —el sentido de este término ha cambiado desde el siglo XV—, la ciencia de las máquinas, una ciencia —o un arte— en el que Leonardo, genio técnico donde los haya, despliega una capacidad absolutamente asombrosa. ¡Qué no ha construido! Máquinas de guerra y máquinas para la paz, carros de asalto y máquinas excavadoras, armas y grúas, bombas y máquinas para hilar, puentes y turbinas, tornos para hacer tornillos y para pulir lentes, escenarios giratorios para espectáculos de teatro, prensas para imprimir y cojinetes sin fricción, vehículos y barcos que se mueven por sí mismos, submarinos y máquinas voladoras, máquinas destinadas a hacer el trabajo de los hombres más fácil y a aumentar su bienestar y poder. Sin embargo, a decir verdad, estas consideraciones prácticas y utilitarias no me parecen haber desempeñado un papel preponderante en el espíritu de Leonardo, ni en su acción. Y quizá me he equivocado al llamarle constructor de máquinas; una designación más correcta sería la de inventor.

Efectivamente, de todas estas maravillosas máquinas cuyos dibujos cubren innumerables páginas de sus manuscritos, no es en absoluto seguro que haya construido nunca una sola. Parece haber estado mucho más preocupado por la elaboración de sus proyectos que por su realización; mucho más preocupado por el poder intelectual del espíritu humano capaz de concebir e inventar estas máquinas, que por el verdadero poder que habrían podido procurar a los hombres y las realizaciones prácticas que les habrían permitido realizar. Es quizá la razón profunda por la que intentó tan raramente hacer uso de sus propias invenciones, o incluso de las de los otros; por ejemplo, al contrario que Durero, no se sirvió nunca, al menos para sí mismo, de las dos grandes invenciones técnicas de su época, la imprenta y el grabado, aunque inventara y perfeccionara la

prensa de imprimir, y él mismo grabara las planchas que representan los cuerpos geométricos regulares para el *De divina proportione* de su amigo Lucas Pacioli. Y es probablemente por esta misma razón por la que los dibujos de Leonardo, que encarnan la imaginación del teórico y no la experiencia del práctico, son tan diferentes de las obras y compilaciones técnicas de los siglos XV y XVI; mientras que estas últimas son croquis o pinturas, los dibujos de Leonardo son «diseños», los primeros que se han dibujado.

Igualmente, mientras que es extremadamente difícil reconstruir las máquinas de la Edad Media, de las que tenemos sólo la descripción o los dibujos, nada hay más fácil que construir las de Leonardo, o más exactamente, nada es más fácil que construirlas hoy. Así, por ejemplo, Robert Guatelis ha construido una bella colección de modelos de Leonardo que la International Business Machines Corporation ha expuesto en 1952 antes de darla al museo de Vinci, lugar de nacimiento de Leonardo. Pero dudo mucho que nadie, incluyendo al mismo Leonardo, haya podido construirlas en su época. Esto no disminuye en nada el genio de Leonardo, sino que le hace aparecer como lo que es verdaderamente: un *tecnólogo* más que un *técnico*.

Leonardo, el ingeniero, es ciertamente uno de los más grandes tecnólogos de todos los tiempos. ¿Pero qué decir de Leonardo el físico? Historiadores modernos, por una reacción justificada contra las exageraciones de sus predecesores, han hecho notar que sus expresiones son a menudo vagas y con bastante frecuencia contradictorias; que su tecnología carece de precisión; que su concepción de la *forza* —fuerza motriz que es la causa del movimiento de los cuerpos libres— es mítica o poética: en efecto, la define o describe como la única entidad en este mundo donde todo se esfuerza por persistir en el ser, que tiende, por el contrario, hacia su aniquilación y su muerte; que su noción de la pesantez (gravedad), presentada a veces como una causa y a veces como un efecto del movimiento, es incoherente. Y subrayan, igualmente, las variaciones de Leonardo en su concepción de los coeficientes de aceleración de la caída (libre) de los cuerpos, proporcional, en ciertos pasajes, al espacio (trayectoria) recorrido por el cuerpo, y en otros pasajes, al tiempo transcurrido durante la caída.

Por supuesto, todo esto es verdad. Sin embargo, no debemos olvidar que estos conceptos y estas cuestiones son difíciles, y que, por ejemplo, la confusión entre la aceleración con relación al espacio y la aceleración con relación al tiempo, es muy fácil

de hacer, tan fácil que continuó hasta Galileo y Descartes, quienes también la hicieron y tuvieron alguna dificultad para esclarecer estos conceptos ambiguos.

No debemos olvidar tampoco que los escritos de Leonardo abarcan un amplio período y que no sabemos concretamente cuándo fue escrito tal o cual texto. Es muy posible que las contradicciones y variaciones no provengan de la incoherencia, sino del desarrollo, del cambio de espíritu, del progreso. ¿No podríamos admitir —a mí me parece extremadamente probable— que habiendo comenzado a pensar de un modo confuso —el pensamiento empieza siempre así—, Leonardo se abriese progresivamente un camino hacia la claridad? Si fuera así, el esbozo sería muy diferente y deberíamos atribuir a Leonardo el mérito de haber comprendido la verdadera estructura de la aceleración del movimiento de la caída de los cuerpos graves, aunque, como ya he dicho, haya sido incapaz de expresar su intuición en términos matemáticos y de deducir a partir de ella la relación exacta entre el tiempo transcurrido y el espacio recorrido en tal movimiento. Sin embargo, es posible que incluso en este caso su intuición fuera fundamentalmente correcta.

Yo, por mi parte, creo que fue así. Pero es difícil demostrarlo, pues la terminología de Leonardo es efectivamente muy vaga e incoherente: es la terminología de un *uomo senza lettere*. Nos dice, por ejemplo, que el espacio recorrido por el cuerpo que cae crece al modo de una pirámide, pero no especifica a qué hace alusión: la arista, el volumen o la sección de la pirámide. Efectivamente, es una lástima que Leonardo no haya sido, tal como querría Duhem, alumno de los nominalistas parisienses. En este caso, habría tenido a su disposición una precisa y sutil terminología, y habría sido fácil para mí exponer con exactitud lo que él entendía por esta afirmación. Desgraciadamente, no era sucesor de ellos, como tampoco fue predecesor de Galileo, del que le separa precisamente la concepción de la *forza* o el *impetus*, causa inherente del movimiento, concepción de la que Galileo se liberó a la vez que liberaba a la física, sustituyendo esta concepción por la de *inercia*.

Sin embargo, a pesar de su retraso en el ámbito teórico, es muy interesante para un filósofo o un historiador de las ciencias estudiar a Leonardo como físico.

El historiador debe admitir que, aunque Leonardo no conociera el principio de la inercia, no por ello dejó de enunciar hechos que, para nosotros, lo implican sin duda alguna, y que además sólo fueron enunciados de nuevo tras el descubrimiento por Galileo de este principio. Leonardo fue, pues, el único —y

esto durante más de un siglo— que, en oposición a la opinión unánime de teóricos y prácticos —es decir, los pirotécnicos y artilleros—, afirmó que la trayectoria de una bala era una curva continua, y no, como se creía, una línea compuesta de dos segmentos de recta, unidos entre sí por un arco de círculo. Para volver al caso que ya he mencionado, al estudio del fenómeno del choque, él fue el primero —y además el único durante cerca de ciento cincuenta años— no sólo en establecer para dos móviles iguales que se encuentran la ley general de la igualdad de la velocidad después del choque y la de los ángulos de incidencia y reflexión, sino también en demostrar que si dos cuerpos iguales se desplazan uno hacia el otro a velocidades diferentes, cambiarán sus velocidades después del choque. En cuanto a los filósofos, podrán admirar y analizar esta extraña facultad que permitió a Leonardo alcanzar tales conclusiones ignorando las premisas en las que se fundan.

Teniendo esto presente, podemos descubrir al examinarlo más de cerca que no sólo el físico, sino también su física ofrecen más interés del que se admitía recientemente, y que en su imperfección y debilidad esta física es más original, por lo menos en sus intenciones, de lo que parece a primera vista.

Parece que con sus dudas, contradicciones e incoherencias, los textos de Leonardo revelan un persistente esfuerzo por reformar la física haciéndola a la vez dinámica y matemática. Así, el carácter dialéctico de su concepción de la *forza* podría explicarse como una tentativa para transformar la idea misma de causa física, fusionando las de *causa efficiens* y *causa finalis* en el concepto de potencia o fuerza que tiende a desaparecer en el efecto que produce y en el que se realiza. Es posible también que las variaciones en su concepción de la gravedad —fuente y efecto del movimiento— no puedan ser comprendidas más que como una sucesión de esfuerzos por «dinamizar» este concepto y para fundir la estática y la dinámica, ligando mutuamente la energía potencial de un cuerpo grave y la que adquiere en y por su movimiento de caída.

En cuanto a la tendencia a matematizar la física, además de su tentativa infructuosa por deducir la ley de la aceleración de la caída y su éxito en el análisis de las leyes de choque, se manifiesta en su interés profundo por Arquímedes, al que cita en varias ocasiones y cuyos manuscritos buscó toda su vida: esta tendencia se manifiesta mucho más aún en su concepción de la ciencia física en general, concepción a la que la geometría euclídea sirvió con toda seguridad de modelo.

La física, según Leonardo, debería comenzar por un conjunto de principios y proposiciones primeras que proporcionarían la base de posteriores desarrollos. Admirable ideal, en efecto, que sigue siendo un ideal.

No necesito insistir en la obra de Leonardo en el ámbito de las ciencias naturales, la geología, la botánica y la anatomía. Es mucho más conocida e indiscutible. Pero no se puede dejar de admirar la precisión, la calidad artística de sus dibujos, su aguda visión, el ingenio de su técnica a menudo superior a la de Vesalio; tengo que insistir, sin embargo, en el hecho de que toda su obra sobre anatomía apunta a una finalidad muy definida y precisa: *descubrir* la estructura mecánica interna del cuerpo humano para hacerla accesible a la observación directa, es decir, a la *vista*.

Aquí estamos de nuevo ante una cuestión que ya he tratado en esta conferencia: la importancia relativa y la relación entre ver y oír, *visus y auditus*, como fuentes e instrumentos del saber en diferentes épocas y culturas.

Me parece que a través de Leonardo, y con él por primera vez en la historia, quizá, el *auditus* está relegado a un segundo plano, ocupando el primero el *visus*.

El hecho de que el *auditus* retroceda a segundo plano implica en el campo de las artes el ascenso de la pintura a la cumbre de su jerarquía respectiva. Como nos explica Leonardo con esmero, esto se debe a que la pintura es el único arte capaz de *verdad*, es decir, el único capaz de enseñarnos las cosas tal como son. Pero en el ámbito del conocimiento y de la ciencia esto significa algo distinto, algo mucho más importante. Esto significa, efectivamente, la sustitución de la *fides* y la *traditio*, del saber de los otros, por la *vista* y la *intuición* personales, libres y sin coacción.

Leonardo da Vinci no desarrolló la ciencia con la que soñaba. No habría podido hacerlo. Era demasiado pronto y tenía muy poca influencia en el pensamiento científico de sus contemporáneos y sucesores inmediatos; sin embargo, su puesto en la historia del pensamiento humano es muy importante: gracias a él y a través de él, como hemos visto, la *técnica* se ha hecho *tecnología* y el espíritu humano se ha elevado al ideal del conocimiento en el que un siglo más tarde se inspiraron Galileo y sus amigos, los miembros de la *Accademia dei Lincei* que rechazaron la autoridad y la tradición y quisieron *ver* las cosas tal como eran.

LA DINÁMICA DE NICCOLO TARTAGLIA *

En la historia de la dinámica, Tartaglia ocupa un puesto bastante importante. Hay que señalar, sin embargo, que las ideas que tuvieron más influencia en sus contemporáneos fueron las fundamentalmente tradicionalistas de la *Nova scientia* [1], y no las mucho más avanzadas de las *Quesiti et inventioni diverse* [2].

La nueva ciencia que anuncia el librito de Tartaglia es la ciencia de la balística. Ahora bien, aunque sin duda exagera al pretender ser su inventor —Leonardo da Vinci se había ocupado de esto mucho antes que él—, no es menos cierto que fue el primero en tratar de esta «ciencia» en un libro impreso; el primero también en someter a un tratamiento matemático, es decir, geométrico, algo que hasta entonces no era más que un «arte» pura y simplemente empírico. Por eso mismo, la *Nova scientia* señala una fecha, y los méritos de Tartaglia siguen siendo enormes, aunque las teorías que exponga en ella sean completamente falsas: las ciencias, hablando en general, comienzan siempre con teorías falsas. Pero la posesión de una teoría, incluso falsa, constituye un enorme progreso con relación al estado preteórico.

La base de la dinámica de la *Nova scientia* es casi puramente tradicional. Pero su presentación no lo es. Tartaglia parece, efectivamente, querer evitar toda discusión filosófica a propósito de los conceptos que emplea —movimiento natural y violento, etc.—, así como toda discusión relativa a las causas de los fenómenos que está estudiando. Así, no plantea nunca la pregunta: *a quo moventur proiecta?*, ni menciona la existencia de

* Artículo publicado en *La science au XVIe siècle*, Colloque International de Royaumont, 1-4 de julio de 1957, París, Hermann, 1960, pp. 93-116. Este artículo ha sido también publicado parcialmente en el *Philosophisches Jahrbuch*, 1958 (Festschrift Hedwig Conrad-Martius).

1 *Nova scientia inventa da Nicolo Tartalea*, Venecia, 1537.

2 *Quesiti et inventioni diverse di Nicolo Tartalea, Brisciano*, Venecia, 1546.

teorías rivales —la de Aristóteles y la del *impetus*— que explican de modos diferentes la acción del motor en el móvil, en el caso del movimiento violento, o la aceleración espontánea de los cuerpos graves en el del movimiento natural. El procede *modo geometrico*, comenzando por dar una serie de *definiciones*, a las que siguen *suposiciones* (axiomas) y *juicios comunes* de los que finalmente deduce las *proposiciones* de la ciencia nueva. Resulta de ello un cierto carácter zafio de la obra. Pero Tartaglia, que sin duda se considera empirista —los cañones son hechos, las balas van por el aire y caen— y se dirige al práctico, no al filósofo, lo ha querido así. Son justamente datos y conceptos empíricos —por lo menos es lo que él cree— lo que quiere someter a un tratamiento matemático (geométrico) sin pasar por una teoría explicativa que formaría su unión. Es en esto en lo que consiste el interés de la tentativa. Y el fracaso de su positivismo *avant la lettre* nos enseña muy bien la dificultad de su empresa, así como el peligro que comporta, para una ciencia que nace, una confianza exagerada en la «empiria».

La *Ciencia nueva* de Tartaglia no es un tratado *de motu;* no estudia todos los movimientos posibles de los cuerpos dados en la realidad concreta; no se ocupa de los cuerpos «ligeros»; hace abstracción de ciertas condiciones reales del movimiento, sobre todo de la existencia y la resistencia del medio; sólo se ocupa del movimiento de los cuerpos «igualmente graves», es decir, los que, «a consecuencia de la gravedad de su materia y a consecuencia de su forma no son susceptibles de experimentar una oposición sensible del aire a su movimiento» (I, def. I), lo que quiere decir, prácticamente, los cuerpos esféricos de plomo, hierro, piedra o de otra materia de peso semejante (p. B., reverso), dicho de otro modo: las balas.

Esta definición de «cuerpo igualmente grave» va seguida por las definiciones de instante: «lo que no tiene partes» (def. III); del tiempo: «medida del movimiento y del reposo» (def. IV); del movimiento: «transmutación (traslado) que un cuerpo hace de un lugar a otro», siendo los términos de este traslado «instantes». A esta definición, Tartaglia añade la observación de que algunos sabios distinguen seis clases de movimientos, aunque Aristóteles no conociera más que tres de ellos; en cuanto a él, Tartaglia, no se ocupa más que del movimiento local, de ahí su definición.

El movimiento local de los cuerpos igualmente graves puede ser, bien un movimiento natural, es decir (def. VI), «el que hacen, sin violencia alguna, de un lugar superior a un lugar inferior»; bien un movimiento violento (def. VII), a saber, el que

hacen «siendo forzados a ello de abajo arriba, de arriba abajo, de aquí a allá, en virtud (causa) de alguna potencia que les mueve». De este modo, para Tartaglia, y esto es algo muy importante aunque sin duda puramente tradicional, como veremos en seguida, el movimiento descendente de un cuerpo igualmente grave es su solo y único movimiento natural; todos los demás, el de un cuerpo que se desplaza horizontalmente, son tan violentos como el movimiento hacia arriba.

En cuanto a la potencia que los mueve que acabamos de mencionar, Tartaglia la define (def. XIII) como «cualquier máquina artificial capaz de lanzar o tirar por el aire violentamente un cuerpo igualmente grave».

La *suposición primera* nos dice que si un cuerpo en movimiento produce un efecto (un choque) mayor, es que va más deprisa; el *juicio común* I añade que un cuerpo igualmente grave produce un efecto tanto mayor [al chocar] con otro cuerpo cuanto más de arriba venga con un movimiento natural; y el *juicio común* IV, que un cuerpo igualmente grave animado por un movimiento violento producirá un efecto tanto más grande sobre otro cuerpo cuanto más cerca esté éste del punto de partida (principio) de este movimiento.

De estas *suposiciones* y *juicios comunes* —y ello por un razonamiento bastante curioso que se funda en el hecho de que un cuerpo que cae de más arriba (lo alto de una torre) choca contra el suelo con una fuerza mayor que el que cae de una ventana que se encuentra a mitad de la altura, y, por tanto, va más deprisa—, Tartaglia deduce (prop. 1) que «en el movimiento natural todo cuerpo igualmente grave va tanto más deprisa cuanto más se aleja del punto de partida (principio) o cuanto más se acerca al punto de llegada (final) de su movimiento». Esta identificación del alejamiento del punto de partida con la aproximación al punto de llegada, identificación perfectamente natural, y de la que Benedetti será el primero en reconocer el carácter falaz, implica que un cuerpo que se dirigiera hacia el centro del mundo, a condición por supuesto de poder trasladarse allí, por ejemplo, por un canal que atravesara la Tierra por uno de sus diámetros, llegaría allí con una velocidad máxima. Efectivamente, el movimiento del grave hacia el centro del mundo es semejante al de un viajero que va hacia el lugar deseado:

Cuanto más va acercándose a ese lugar más se apresura y se esfuerza por caminar; parece un peregrino que viene de un lugar

lejano; cuanto más se acerca a su país, más se esfuerza por caminar con todas sus energías, y ello tanto más cuanto más lejano está el país del que viene; así ocurre con el cuerpo grave; se apresura igualmente hacia su propio nido, que es el centro del mundo; y cuanto más alejado está el lugar de donde viene, más deprisa va al acercarse a él.

Pero ¿qué hará el grave cuando haya alcanzado su «nido»? ¿Se detendrá allí como el peregrino que ha vuelto a su país, o continuará su curso? En la primera edición de la *Nova scientia,* Tartaglia no nos lo dice, pero en la segunda (1550) toma partido resueltamente contra la posibilidad de una parada:

Acabamos de recordar —escribe Tartaglia— que la opinión de un gran número de filósofos era que si existiera un canal perforado de parte a parte a través de la Tierra pasando por su centro, por el cual pudiera moverse un cuerpo uniformemente grave, tal como se ha explicado anteriormente este cuerpo se detendría de repente al llegar al centro del mundo. Pero esta opinión desde mi punto de vista no es exacta [3]. Lejos de detenerse de repente, al llegar al centro, el móvil, al estar impulsado por una gran velocidad, sobrepasaría este punto como lanzado por un movimiento violento y se dirigiría hacia el cielo del hemisferio opuesto al nuestro, para volver inmediatamente al mismo centro, volverlo a sobrepasar de nuevo cuando hubiera llegado en virtud de un movimiento violento que esta vez le traería hacia nosotros, de ahí volvería otra vez a moverse con un movimiento natural hacia el mismo centro, etcétera, disminuyendo gradualmente de velocidad hasta pararse efectivamente en el centro de la Tierra.

Estando fijada desde ahora la estructura general de los movimientos de los cuerpos pesados, Tartaglia nos presenta dos corolarios bastante importantes, a saber: *a)* que el cuerpo grave va más lentamente al principio de su movimiento y más deprisa al final; *b)* que su velocidad varía constantemente, es decir, que no puede ser la misma en dos momentos distintos del recorrido.

Es sólo ahora, en la proposición II, cuando Tartaglia establece que:

[3] Tartaglia se equivoca al decir «desde mi punto de vista», pues la opinión que defiende es común a los partidarios de la dinámica del *impetus*. Pero Tartaglia está dispuesto a atribuirse una originalidad exagerada.

todos los cuerpos igualmente graves, semejantes e iguales, parten del principio de su movimiento natural con una velocidad[4] igual, pero aumentan sus velocidades de tal modo que el que atraviese un espacio mayor, irá más deprisa.

La velocidad del movimiento de bajada —Tartaglia no dice expresamente que sea proporcional a él— aumenta, pues, en función del espacio recorrido.

Las propiedades del movimiento violento son rigurosamente contrarias a las del movimiento natural. De este modo (proposición III):

Cuanto más se aleja del principio un cuerpo igualmente grave, o cuanto más se acerca al final del movimiento violento, más lentamente va.

De ahí el importantísimo corolario, en virtud del cual Tartaglia rechaza la creencia común en la aceleración inicial del proyectil, rechazo fundado además en la negación del aumento de la potencia del choque con el alejamiento de dicho proyectil de su punto de lanzamiento:

De ahí se manifiesta que un cuerpo igualmente grave tiene al principio de su movimiento violento mayor velocidad, y al final menor velocidad que en ningún otro lugar de su trayectoria; y que cuanto mayor es el espacio que tiene que recorrer, más deprisa irá al principio de su movimiento (cor. 1).

Como el cuerpo en movimiento natural, el que se mueve con movimiento violento no puede tener una misma velocidad en dos momentos diferentes de su trayectoria (cor. 2); por otra parte (la situación aquí es estrictamente inversa a la del movimiento natural), todos los cuerpos igualmente graves, semejantes e iguales, irán al final de su movimiento a igual velocidad, cualquiera que haya sido la que tenían al principio[5].

Esto implica una consecuencia importante, aunque prematura, puesto que aún no se ha determinado la forma de la trayectoria del movimiento violento —la cuestión será además vuelta a estudiar por Tartaglia en el libro II de su obra—, a saber, que si dos cuerpos son lanzados bajo un mismo ángu-

[4] Tartaglia evita la difícil cuestión de la determinación de esta velocidad.

[5] Una vez más Tartaglia no dice cuál será esta velocidad terminal y no la asimila al reposo.

lo, pero con velocidades diferentes, la trayectoria del más lento será similar exactamente a partir de un cierto punto, en particular de aquel en que su velocidad es igual a la velocidad inicial del más lento, a la trayectoria descrita por el más rápido (fig. 1).

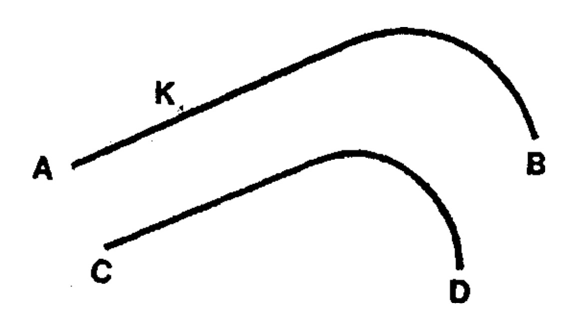


FIG. 1.—*La velocidad del primer cuerpo (el más rápido), en K es igual a la del movimiento del segundo (el más lento), en C.*

Volvamos ahora al problema general de la forma de la trayectoria descrita por un cuerpo igualmente grave en su movimiento violento. Su solución es tanto más difícil para Tartaglia cuanto que no sólo acepta la tesis común de la incompatibilidad del movimiento natural y del movimiento violento, sino que le atribuye un valor absoluto; en otros términos, niega resueltamente la posibilidad del movimiento «mixto» sobre el que Nicolás de Cusa y Leonardo da Vinci habían insistido con tanta fuerza. En la proposición V nos dice así:

Ningún cuerpo igualmente grave puede durante ningún espacio de tiempo o de lugar, marchar con un movimiento compuesto (mixto) a la vez de movimiento violento y movimiento natural.

Efectivamente, si lo hiciera, debería moverse aumentando continuamente su velocidad y al mismo tiempo disminuyéndola no menos continuamente; lo que, sin duda alguna, es imposible.

La trayectoria del cuerpo lanzado oblicuamente en el aire se presentará como si describiera al principio una línea recta, después una curva (arco de círculo), luego de nuevo una recta (figura 2).

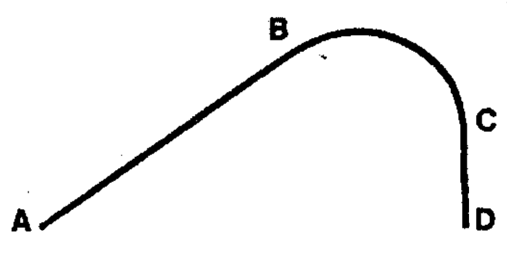


Fig. 2

La solución de Tartaglia, lo vemos bien, es completamente tradicional; pero, diga lo que diga, no se desprende en modo alguno del principio que ha afirmado con tanto vigor. Por el contrario, de la imposibilidad del movimiento mixto debería resultar una trayectoria completamente distinta, angular; el cuerpo debería seguir un recorrido rectilíneo hasta que hubiera alcanzado el punto de velocidad *mínima* que marca el final de su movimiento violento; después, volver a bajar en línea recta y con un movimiento natural hasta el suelo (fig. 3)[6]. ¿Por qué, en efecto, la trayectoria habría de curvarse hacia abajo? La teo-

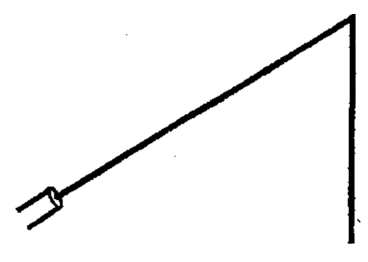


Fig. 3

ría del movimiento «mixto» podría explicarlo. Tartaglia no puede. Efectivamente, la disminución de la velocidad del proyectil no tiene nada que ver con el problema, pues no es el movimiento violento *rápido*, es todo movimiento violento el que es incompatible con el movimiento natural; inversamente, si se admite que el movimiento violento rectilíneo se curva en un momento dado por influencia de la gravedad, para ser consecuente

[6] Tales trayectorias aparecen en libros dedicados al arte del cañón en pleno siglo xvi.

hay que admitir esta influencia como algo que se ejerce a lo largo de todo el recorrido y no sólo al final.

Tartaglia, en el fondo lo sabe. Por eso añade a la suposición II del libro II de su obra (suposición que nos dice justamente que toda trayectoria de un cuerpo grave lanzado oblicuamente estará compuesta, primero, de una parte rectilínea, y luego de una curvilínea [circular] con la que va a unirse la vertical de la caída) una anotación que corrige el enunciado precedente. En efecto, hablando estrictamente, la trayectoria en cuestión no puede poseer ninguna parte perfectamente rectilínea; por la pesantez que continuamente atrae el cuerpo grave hacia el centro del mundo, será completamente curva. Tartaglia considera, sin embargo, que lo será tan poco que su desviación será perfectamente imperceptible a nuestros sentidos, y que podemos no tenerla en cuenta. No podemos suponer, pues, que sea verdaderamente recta y que la parte visiblemente curva sea verdaderamente circular [7].

La simplificación introducida por Tartaglia en el trazado de la trayectoria no es una abstracción teórica, sino una simplificación práctica. Parece cierto, pues, que adoptó el trazado

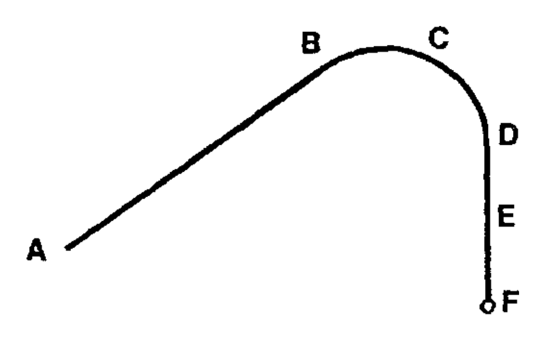


FIG. 4

tradicional de la trayectoria —el de los artilleros— como un hecho y que se vio obligado a introducir en su teoría ciertas concepciones, tales como la curvatura del movimiento violento, que le permitían no alejarse de los datos de la experiencia que

[7] Es curioso constatar que el frontispicio de la *Nova scientia* ofrece la representación de una bombarda lanzando un obús de trayectoria sensiblemente curva.

le proporcionaba la práctica. Admite, pues —a partir de la proposición III del libro I— que el movimiento violento puede ser tanto rectilíneo como curvo, y hace depender la disminución de la velocidad de este movimiento de la longitud del camino recorrido (cf. *supra*), sin preocuparse de la forma de este camino[8].

Aplicada al problema de la trayectoria de la bala de cañón, esta concepción permite afirmar que su movimiento violento puede efectuarse tanto en círculo como en línea recta, e incluso que sigue siendo violento hasta el momento en que la bala comienza a bajar en vertical, es decir, hasta el punto C (cf. dibujo de la fig. 5). Es ahí, y no en la parte superior de la curva,

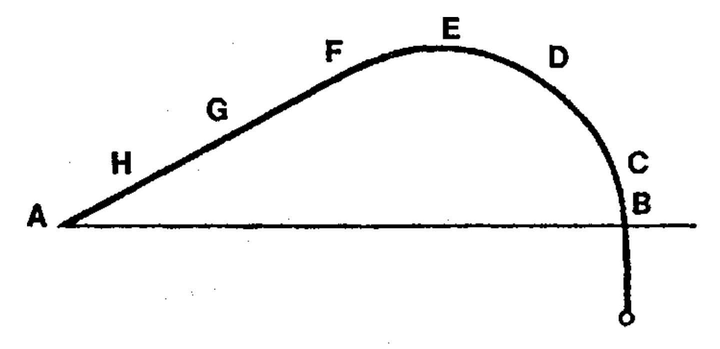


Fig. 5

donde se encuentra el punto de velocidad *mínima*, pues es ahí donde se agota y desaparece el movimiento violento (lib. II, sup. III). El alcance máximo, o, para emplear los mismos términos de Tartaglia, «el efecto más lejano» (lib. II, sup. IV) de una proyección en un plano se mide por la distancia entre el punto de partida y el punto en que comienza la caída vertical. Varía con la elevación del cañón y depende de la longitud de la parte rectilínea del recorrido tanto como de su parte circular. Si Tartaglia hubiera sido consecuente consigo mismo, debería haber admitido que la longitud total del camino recorrido con movimiento violento es siempre igual a sí misma, cualquiera que sea el ángulo de proyección de la bala; lo que le habría

[8] En realidad, los teóricos de la dinámica del *impetus* han admitido siempre (con Aristóteles, por lo demás) que el movimiento circular sobre la Tierra era un movimiento violento.

permitido calcular la longitud relativa de las partes rectilínea y circular de la trayectoria. Pero él no saca esta consecuencia —inmediata, sin embargo— de su concepción del movimiento violento; quizás porque se da cuenta del carácter artificial de ésta. Todo lo que nos dice es que la parte circular de la trayectoria es tanto mayor cuanto mayor es el ángulo de proyección, con la excepción, por supuesto, del caso en que la proyección se hace perpendicularmente hacia arriba o hacia abajo (figura 6).

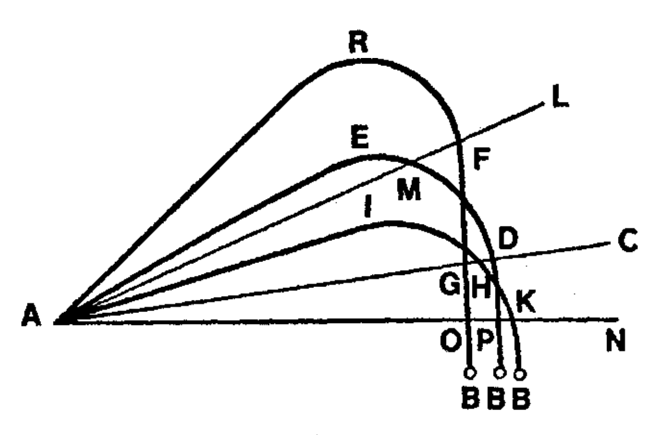


FIG. 6

Efectivamente, para unir una proyección horizontal a la bajada vertical, basta un cuadrante de círculo (prop. IV), tal como se ve en la figura 7.

Cuando la proyección se dirige (oblicuamente) hacia arriba, un cuadrante de círculo no basta: el segmento EF será, por tanto, mayor (prop. V).

Cuando, en cambio, el tiro se dirige oblicuamente hacia abajo, la curva de unión será menor que un cuadrante (proposición VI).

De ahí —habiendo olvidado visiblemente lo que había dicho en la proposición IV del libro I— Tartaglia deduce (proposición VII) que:

> las trayectorias de los movimientos de los cuerpos igualmente graves, proyectados por encima del horizonte con una inclinación igual, serán parecidas y por consiguiente proporcionales, así como las distancias recorridas,

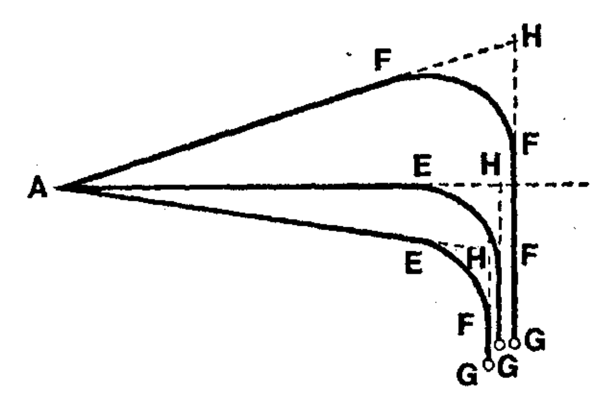


Fig. 7

lo que quiere decir que las relaciones de las distancias en este caso no dependen más que de las relaciones de las velocidades iniciales y son proporcionales a éstas (fig. 8).

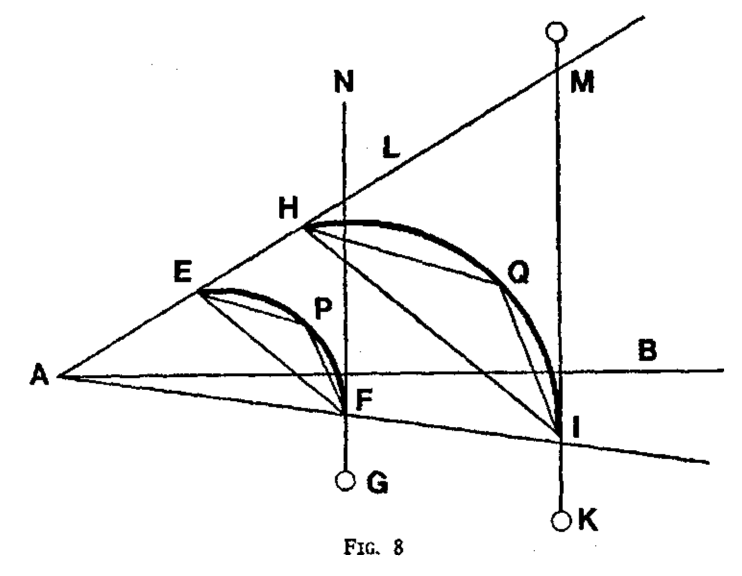


Fig. 8

Las proposiciones VIII y IX, al explicar que la misma distancia (horizontal) puede corresponder a dos elevaciones diferentes del cañón y que este alcance es mínimo para la eleva-

ción 0 —tiro horizontal— y la elevación de 90° —cañón apuntado verticalmente—, demuestran que el alcance mayor corresponde a un ángulo de 45°, que se encuentra justo en medio y que el alcance de tal tiro es diez veces el del tiro horizontal. Tartaglia añade incluso que la parte rectilínea de la trayectoria será cuatro veces mayor que la del tiro horizontal.

La continuación de la *Nova scientia* (lib. III) está dedicada a problemas prácticos: cómo determinar las distancias y las elevaciones de los blancos apuntados..., y a la descripción de un instrumento de medida de ángulos muy próximo por lo demás al cuadrante de Regiomontano. No nos interesan directamente.

Tartaglia afirma en el prefacio de su libro —dedicatoria a Francesco Maria dalla Rovere, duque de Urbino, prefecto de Roma y capitán general del Senado de Venecia— que ha elaborado una teoría que permite calcular, a partir de un alcance dado, es decir, establecido por la experiencia para un ángulo determinado, el alcance de los disparos de cañón y mortero, en función de sus elevaciones. No lo publicó nunca, y los libros IV y V de la *Nova scientia* no se imprimieron nunca.

En cambio, en 1646, Tartaglia publica su *Quesiti et inventioni diverse*, cuyos dos primeros libros contienen un estudio sobre balística, estudio en el que se replantean, completan y a veces modifican las teorías expuestas en la *Nova scientia*.

Desde el punto de vista de la dinámica, la modificación más importante, y en ciertos aspectos decisiva, consiste en el abandono de la simplificación práctica que permitía afirmar el carácter rectilíneo de una parte de la trayectoria del proyectil. En consecuencia, Tartaglia rechaza la venerable creencia en la existencia de un movimiento violento en línea recta, a menos que esté dirigido directamente hacia el cielo o, por el contrario, hacia el centro del mundo. La trayectoria de una bala de arcabuz o de una bala de cañón no comporta ninguna parte rectilínea, ni cuando el tiro se dirige (oblicuamente) hacia arriba o hacia abajo, ni cuando su dirección es horizontal: la trayectoria es siempre en línea curva y la bala de cañón empieza a descender desde el primer momento de su proyección. Tartaglia añade que si no había sostenido esta teoría en su *Nova scientia* es porque quería ser comprendido por el vulgo. Es posible. Es posible también —es lo que creo— que sus concepciones hayan evolucionado entre tanto.

Teoría completamente inaudita y que parece ser por completo contraria a la experiencia. Por ello, el interlocutor de

Tartaglia —los *Quesiti* están escritos en forma de diálogos-discusiones—, en este caso el duque Francesco María de Urbino, protesta violentamente[9]. Admite, por supuesto, que los movimientos hacia arriba y hacia abajo son rectilíneos. Pero que en cualquier otra dirección y en cualquier longitud de la trayectoria el proyectil no se mueva en línea recta, eso es algo increíble y que él no admite, sobre todo porque las experiencias hechas en Verona, con una culebrina de 20 libras, le han demostrado que a la distancia de 200 metros la bala se situaba en el punto de mira, lo que quiere decir que volaba en línea recta. Es muy probable, y el duque lo admite, que si dicha culebrina se elevara para disparar a una mayor distancia, la trayectoria no sería completamente en línea recta. Pero de ahí no se puede concluir que sea incapaz de lanzar una bala en línea recta a una distancia de 200 pasos, o de 100, o de 50.

A lo que Tartaglia responde que no sólo la bala no recorrerá 50 pasos en línea recta, sino que no recorrerá ni uno solo. La creencia contraria se debe a la debilidad del intelecto humano[10], que tiene dificultades para distinguir lo verdadero de lo falso. Por eso Tartaglia pregunta a Su Excelencia que cree que la bala recorrerá una parte de su trayectoria en línea recta y la restante en línea curva; por qué razón esta bala irá así en línea recta; en qué parte de su trayectoria y hasta dónde irá de este modo, e igualmente, cuál es la causa de que vaya luego en línea curva, en qué parte de su trayectoria lo hará y a partir de qué punto. El duque contesta que la gran velocidad que la bala lleva en la salida de la boca de la pieza es la causa de que durante poco tiempo o espacio vaya en línea recta; pero que más tarde, faltándole en algún punto vigor y velocidad, empezará a ir más despacio y a bajar sucesivamente hasta la Tierra y continuará así hasta que caiga en ella.

Respuesta admirable, corrobora Tartaglia; efectivamente, es la velocidad de la bala lo que se opone a que se curve la trayectoria, cuya declinación aumenta con su disminución de velocidad, pues un cuerpo animado por un movimiento violento se hace tanto menos pesado cuanto más deprisa, y en consecuencia más rectamente, va por el aire, que le sostiene tanto más fácilmente cuanto más ligero es[11]. Inversamente, cuanto

[9] *Quesito*, III, pp. 11 ss.

[10] Así, no son ya los sentidos, sino el intelecto al que, en lo sucesivo, se le hace responsable del error.

[11] El aligeramiento del grave por su movimiento rápido resulta de la incompatibilidad de los *impetus* natural y violento.

menos rápido va, más pesado se hace y es, por tanto, atraído a la Tierra más fuertemente por esta gravedad. Este aligeramiento del cuerpo grave en función de su velocidad no impide, sin embargo, que, en los efectos producidos, es decir, en la percusión, el cuerpo en cuestión obre con toda su gravedad natural, aumentada incluso en función de su velocidad, y por esto actúa con tanta más fuerza cuanto más deprisa va, e inversamente. El duque está de acuerdo, pero Tartaglia prosigue:

Supongamos, pues, que todo el camino, o toda la trayectoria (tránsito) que debe hacer o que hace la bala disparada por la mencionada culebrina es [representada] por la línea *abcd* entera; si es posible que en cualquiera de sus partes sea perfectamente recta, estableceremos que sea la parte *ab;* que ésta se divida en dos partes iguales en *e;* la bala entonces atravesará el espacio *ae* más rápidamente (según la proposición II del libro I de nuestra *Nova Scientia*) que el espacio *eb.* Ahora bien, por razones explicadas anteriormente, la bala irá más recta por el espacio *ae* que por el espacio *eb,* por lo que la línea *ae* será más recta que la línea *eb,* lo que es imposible, porque si toda la línea *ab* se supone que es perfectamente recta, una mitad suya no puede ser ni más ni menos recta que la otra mitad, y si una mitad fuera más recta que la otra se deduciría necesariamente que esta otra mitad no era recta y por consiguiente que la línea *ab* no era recta.

Aplicando el mismo razonamiento a la parte *ae* —se divide en *f* en dos— se deduce que ninguna parte de la trayectoria puede ser recta por mínima que sea y que es toda ella curva (figura 9). El duque, sin embargo, no se convence. Por ello

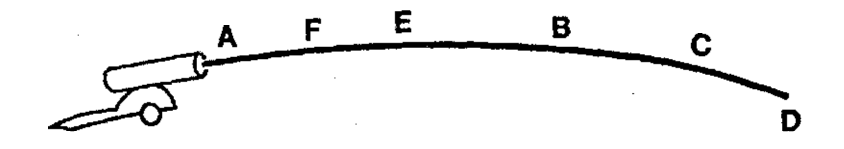


FIG. 9

opone al razonamiento matemático de Tartaglia el testimonio irrefutable de la experiencia: las balas llegan directamente al punto de mira, lo que no ocurriría si no fueran en línea recta.

Argumento falaz, responde Tartaglia. Es cierto que creemos ver la bala ir directamente al punto de mira; ahora bien, es

una ilusión. La bala no va en línea recta, como tampoco se eleva sobre el horizonte [cuando el cañón está apuntado horizontalmente], todo eso es imposible. Pero nuestros sentidos no son lo bastante agudos y precisos para distinguir la tensa curva del principio de la trayectoria de una línea recta; así, un mar en calma nos parece perfectamente plano, cuando en realidad su superficie es la de una esfera.

El duque admite el valor del razonamiento, aunque la tesis de Tartaglia continúa pareciéndole extraña. Pero no se rinde, pues incluso si se admitiera que una bala disparada horizontalmente fuera en todo su recorrido desviada de su trayectoria por la gravedad que actúa sobre ella en las condiciones más favorables a esta acción, esto no sería cierto en el caso de que fuera disparada oblicuamente al aire, siendo entonces la gravedad menos capaz de hacerla desviar. La trayectoria oblicua comporta ciertamente una parte rectilínea.

Tartaglia, sin embargo, mantiene su posición. Lo que es imposible es imposible. La bala sólo irá en línea recta si es disparada verticalmente hacia arriba (o hacia la tierra o el centro del mundo); en cualquier otra posición, describirá una curva. Sin duda es verdad que la gravedad actuará tanto menos cuanto mayor sea la elevación del tiro y que por ello la curvatura será tanto más débil. Sin embargo, nunca llegará a ser nula. Nunca una bala podrá ir en línea recta «en ninguna parte, por pequeña que sea, de su movimiento».

Admitido esto, no es menos cierto que el «aligeramiento» de la bala en función de la rapidez de su movimiento, y mucho más aún en función de la oblicuidad (elevación) del tiro, lleva consigo unas consecuencias teóricas y prácticas de gran importancia: es lo que explica, por un lado, el alargamiento de la parte prácticamente rectilínea de la trayectoria con el acrecentamiento de la velocidad de la bala y del ángulo de elevación del cañón. Es lo que explica, por otro lado, que el tiro horizontal sea el menos eficaz de todos y que, en consecuencia, al bombardear una fortaleza situada en la cima de una colina, sea preferible colocar el cañón no a su nivel (en una colina vecina), sino más abajo.

El alargamiento del recorrido prácticamente horizontal, en función de la velocidad del proyectil, es una consecuencia inmediata de la similitud de las trayectorias de los proyectiles, lanzados con el mismo ángulo de oblicuidad, establecida por Tartaglia en la *Nova scientia.* Su alargamiento en el caso del tiro oblicuo exige consideraciones más sutiles fundadas en la doctrina de Arquímedes relativa a los centros de gravedad y

equilibrio de la balanza. Ahora bien, este equilibrio se encuentra realizado del modo más perfecto cuando dos cuerpos iguales se suspenden de los brazos iguales de la balanza (p. 12 v.) (figuras 10 y 11).

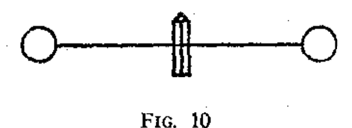


FIG. 10

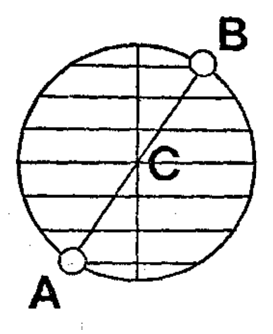


FIG. 11

En este caso, el astil ocupa una posición horizontal y se dice que los cuerpos están «en posición de igualdad». Es en esta posición cuando los cuerpos en cuestión son más pesados; o lo que es lo mismo, cuando los cuerpos se encuentran en posición de igualdad, la gravedad natural tiene más eficacia para atraerlos hacia abajo. Alejemos el astil de la balanza de su posición de igualdad, haciéndolo girar sobre su eje: los cuerpos en cuestión se harán más ligeros en la medida en que se alejen de esta posición o se acerquen a la vertical. Ocurre lo mismo en lo que concierne al plano inclinado: la gravedad natural del cuerpo colocado en tal plano actúa tanto menos —este cuerpo ejerce tanta menos presión sobre este plano— cuanto mayor es la inclinación. Tartaglia concluye, pues, de un modo general que «un cuerpo grave equilibrado partiendo de la posición de igualdad, se hace más ligero al alejarse de esta posición, y esto tanto más cuanto más se aleja» (fig. 12).

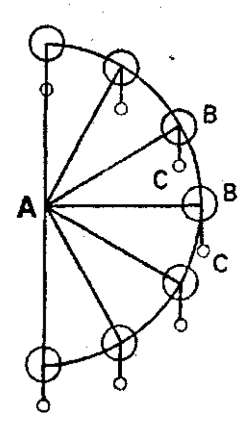


FIG. 12

A partir de lo cual, olvidando, si se puede hablar así, que las balas no están colgadas de los brazos de una balanza, pero teniendo en cuenta que tampoco están sostenidas por planos inclinados, Tartaglia prosigue, asimilando el movimiento horizontal al de un cuerpo que se mueve «en el plano de la igualdad».

Cuando una pieza está apuntada horizontalmente, se puede decir que la bala está en posición de igualdad y que, expulsada en esta posición, pesa más que en cualquier otra posición que tome la pieza con respecto a la dirección horizontal. La bala en este caso camina con más dificultad y empieza a descender mucho antes de lo que lo haría en cualquier otra posición de la pieza. Dicho de otro modo, y para usar la expresión empleada por los artilleros, va mucho menos tiempo «a tiro hecho» que en cualquier otra elevación y, como consecuencia, tiene menos efecto.

En cambio, cuando se mueve en una línea oblicua («cuando se aleja de la posición de igualdad»), la bala se hace tanto más ligera cuanto mayor es esta oblicuidad, o lo que es lo mismo, la gravedad natural actúa en ella más débilmente. Resulta por eso que la misma fuerza (la misma cantidad de pólvora) la lanzará más lejos y que la distancia que atraviesa con un movimiento prácticamente rectilíneo, es decir, la parte de la trayectoria que recorre a una gran velocidad, será más larga: cuatro veces más larga con una elevación de 45° que con un tiro horizontal. Ahora bien, sabemos que la trayectoria empieza a curvarse *sen-*

siblemente cuando la velocidad de la bala ha disminuido también *sensiblemente*: sabemos, igualmente, que la fuerza de choque de la bala contra una pared depende esencialmente de la velocidad con que se mueve. Las consecuencias prácticas de estas consideraciones son claras: admitamos que la longitud de la trayectoria prácticamente rectilínea de la bala en tiro horizontal es de 200 pasos: esta longitud, para una elevación de 45°, será de 800. Admitamos, por otro lado, que la meta a alcanzar —la fortaleza construida en una colina vecina a aquélla en que nos encontramos nosotros— está a una distancia de 60 pasos (en línea horizontal). La bala de cañón que disparemos horizontalmente llegará al obstáculo con una velocidad suficiente para hacerle recorrer aún 140 pasos en línea recta. Coloquemos ahora el cañón más abajo: la distancia que la bala deberá recorrer será sin duda mayor; pongamos que sea de 100 pasos: cuando golpee contra el muro se moverá, sin embargo, con una velocidad suficiente para recorrer aún 700 y su choque será más fuerte. Ocurrirá igual si el alejamiento del cañón colocado en la colina fuera de 130 pasos y el del cañón colocado en la llanura, de 600. En cambio, si este último estuviera alejado 760 pasos, el golpe horizontal sería más fuerte.

No nos burlemos de estos razonamientos absurdos: aplicar las matemáticas a la ciencia del movimiento es muy difícil, y en cuanto a la aplicación del esquema de la balanza, para algo con lo que no tiene nada que ver, el siglo XVI lo hace, desde Leonardo da Vinci hasta Kepler, con una conmovedora y comprensible unanimidad: ¿cómo no sucumbir, efectivamente, a la tentación de extender a la dinámica un esquema que ha dado tan buenos frutos en estática?

El problema de la trayectoria rectilínea o curva lo vuelve a estudiar Tartaglia en una serie de diálogos con el caballero de Rodas, prior de Barletta, Gabriel Tadino di Martinengo (*Ques.* VI, VII, VIII, IX y X). Tartaglia repite los argumentos que ha presentado al duque de Urbino y añade una explicación suplementaria —y muy razonable— del error de los artilleros, que creen todos en la «rectilineidad» del tiro lanzado directamente, es decir, que la línea de mira y el eje del cañón no sólo no son idénticos, sino que no son casi nunca paralelos. Por eso, si sucede —como sucede efectivamente— que la bala alcanza la meta apuntada, no es porque vaya en línea recta siguiendo la línea de mira, o una línea paralela a ésta; es porque la línea de mira y la trayectoria —curva— de la bala se cruzan, y por esto poseen uno o incluso dos puntos comunes (figs. 13 y 14).

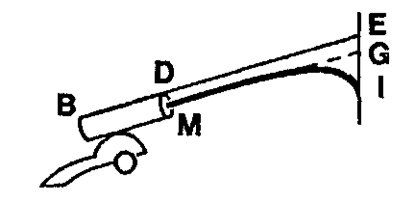


FIG. 13

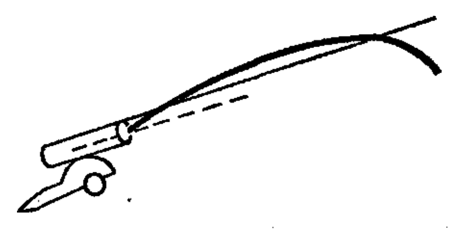


FIG. 14

Hemos visto cómo Tartaglia defiende con obstinación y empeño la verdad teórica (geométrica) contra las pretensiones de la experiencia —seudo-experiencia— del sentido común y de los artilleros que repetidísimas veces invoca el prior de Barletta. Sin embargo, está claro que no se trata en modo alguno de rechazar en bloque el testimonio de los artilleros, ni menos todavía los hechos que su experiencia les ha permitido establecer y que ha hecho indudables y ciertos. Así, por ejemplo, es seguro que si se disparan de un único y mismo cañón dos tiros, uno después de otro —siendo idénticas la elevación y la carga—, el segundo tendrá mayor alcance que el primero; como es seguro que para dar en una muralla con la *máxima* fuerza hay que ponerse a una cierta distancia de ésta, ni muy cerca ni muy lejos. Tartaglia, pues, considera un deber explicarnos estos hechos. Así, a la pregunta —retórica— que le plantea el prior de Barletta (*Quesito* IV, p. 13 r):

«Si se hacen con una misma pieza de artillería dos disparos, uno tras otro, con una misma elevación, hacia el mismo blanco, con igual carga, ¿serán iguales los dos?». Responde él con seguridad: «Sin duda alguna serán desiguales; el segundo tiro tendrá mayor alcance que el primero». «¿Por qué razón?», pregunta el prior, y Tartaglia explica: «Por dos razones. La primera es que en el primer tiro, la bala ha encontrado el aire en reposo, mientras que en el segundo,

lo encuentra no sólo completamente agitado por la bala lanzada en el primer tiro, sino dirigiéndose todavía o corriendo fuertemente hacia donde se tira. Ahora bien, es más fácil mover y penetrar una cosa ya movida y penetrada, que una cosa que está en reposo y equilibrio. Por consiguiente, la bala, después del segundo tiro, al encontrar un obstáculo menor que con el primero, irá más lejos que la primera».

La segunda razón es técnica: la primera explosión de pólvora será más débil que la segunda; efectivamente, la primera se produce en un cañón lleno de humedad; la segunda, en un cañón perfectamente seco. Nos equivocaríamos, sin embargo, al concluir, como hace el prior, que si se lanza una serie de tiros, su alcance irá siempre aumentando. Efectivamente, el recalentamiento de la pieza provoca una contracorriente; además, en una pieza demasiado caliente, la explosión se hará demasiado rápidamente.

El mecanismo imaginado por Tartaglia para explicar el alargamiento de la trayectoria del segundo tiro de cañón no puede ser invocado en caso de variación de la fuerza de la percusión: efectivamente, ésta se manifiesta ya en el primer tiro... Tartaglia, pues, imagina otro. Escuchemos al Signor Jacomo de Achaia plantearle la cuestión (*Quesito* XVIII, p. 24 r):

S. Jacomo: He visto por experiencia que tirando con un cañón contra una muralla y estando cerquísima [de ésta], no he podido causar un efecto tan potente como el que he obtenido estando un poco más lejos; ahora bien, por las razones alegadas por vos en vuestra *Nova scientia*, debería ser todo lo contrario, porque la bala lanzada desde una pieza de artillería cuanto más se aleja de la boca de esta pieza más aminora y pierde velocidad, lo que quiere decir que va menos deprisa y donde va menos deprisa produce un efecto menor. Inversamente, cuanto más cercano está el lugar de donde es lanzada la bala al lugar de percusión, mayor debe ser el efecto producido porque esta bala se mueve con un movimiento más rápido, y sin embargo, como acabo de decir, encuentro por experiencia que ocurre todo lo contrario. Os pregunto, pues, la causa de este inconveniente.

Un teórico del temple de Galileo habría respondido negando el hecho. Pero los Galileos son raros en la historia. Tartaglia —como antes que él Dulaert de Gante y Luis Coronel[12]— se

[12] Cf. P. Duhem, *Études sur Léonard de Vinci*, III, París, 1913; Marshall Clagett, *The science of mechanics in the Middle Ages*, Madison, Wisconsin, 1959.

limita a explicar que el aumento de la potencia del choque es perfectamente compatible con la disminución de la velocidad del proyectil cuya demostración había dado la *Nova scientia.*

El hecho es, nos dice, que todo lo que se mueve, mueve algo; así, la bala, despedida por cierta ventosidad de la pólvora, empuja delante de ella, junto con esta ventosidad, una columna de aire que puede ser comparada a una viga, la cual se mueve, sin embargo, mucho más lentamente que la bala, que por esto la penetra y atraviesa en toda su longitud y en muy poco tiempo. Ahora bien, si el cañón se coloca demasiado cerca del muro, la columna de aire —que normalmente se ensancha y se disipa a una cierta distancia de la boca del cañón, pero que, debido a la proximidad del cañón con el muro, no ha tenido tiempo de hacerlo— llega a tocar el muro antes de ser atravesada por la bala; retrocede y por eso mismo opone una resistencia al movimiento de la bala (se interpone entre la bala y el muro como una especie de cojín); pero si la distancia que separa el cañón y el muro es mayor, la bala tiene tiempo de atravesar toda la columna y golpear el muro sin que la fuerza de este tiro se vea obstaculizada por el choque de vuelta de la columna de aire que la bala ha dejado tras ella.

Se ve fácilmente que el doble esfuerzo de Tartaglia al intentar asentar la teoría balística directamente en la experiencia y al mismo tiempo rechazar las pretensiones de la «experiencia» confusa de la vida cotidiana y de la práctica técnica, no ha llegado a buen término, y no podía llegar. Era a la vez prematuro y poco radical. Por eso no tuvo mucha influencia en sus contemporáneos, sobre todo en lo que tenía de más valioso. Pues si la teoría de la trayectoria tripartita expuesta en la *Nova scientia* tuvo mucho éxito en el siglo XVI e incluso más tarde, la de la trayectoria completamente curvilínea expuesta en las *Quesiti* no tuvo ninguna. Nadie, ni siquiera los matemáticos como Cardano o Bernardino Baldi [13], que, sin embargo, deberían haberse sentido deducidos por ella, ni siquiera Juan Bautista Benedetti, que opone a la tradición los fundamentos sólidos de la filosofía matemática, la adoptaron y ni siquiera discutieron: Benedetti critica, efectivamente, algunas opiniones de Tartaglia, emitidas por éste en las *Quesiti,* pero no se refiere nunca a la teoría general expuesta allí. J. B. Benedetti, sin embargo, no es particularmente característico: no se interesa por la balística, y si trata de la teoría del tiro, punto de ataque

[13] Cf. Alexandre Koyré, «J. B. Benedetti critique d'Aristote», en *Mélanges E. Gilson,* París, 1959, y aquí mismo a continuación, pp. 125-149.

tradicional de los adversarios de Aristóteles, no intenta determinar la trayectoria descrita por el proyectil; la indiferencia de Cardano, Baldi y algunos otros lo es mucho más: nos muestra el poder de la tradición empírico-técnica. Es ésta y no la influencia de Leonardo da Vinci, como pretendía Duhem, lo que encontramos en ellos. Al mismo tiempo se revela otro poder, el del esfuerzo que ha tenido que realizar el pensamiento de Galileo para superar el obstáculo formado por la tradición.

JUAN BAUTISTA BENEDETTI, CRÍTICO DE ARISTÓTELES *

Juan Bautista Benedetti [1] es, con toda seguridad, el físico italiano más interesante del siglo XVI; es también aquél cuyo papel histórico fue más importante; efectivamente, su influencia en el joven Galileo, que, en su tratado *De motu*, le sigue paso a paso, es innegable y profunda.

Benedetti, sin duda, no atravesó el límite que separa a la ciencia medieval —y la del Renacimiento— de la moderna; el haberlo hecho es mérito insigne de Galileo. Pero llevó mucho más lejos que Tartaglia, su maestro y predecesor inmediato, el esfuerzo de matematización de la ciencia; más aún: en una oposición consciente y reflexiva a la física empirista y cualitativa de Aristóteles, intentó erigir, sobre las bases de la estática de Arquímedes, una física o, para emplear su propio término, una «filosofía matemática» de la naturaleza.

Su tentativa no llegó a buen término, y no podía llegar puesto que, contrariamente a Galileo, no pudo liberarse de la confusa idea del *impetus* como causa del movimiento. Muy al contrario, es en eso en lo que basa su dinámica. Sin embargo, logró —y no es pequeña gloria— demostrar matemáticamente la inexistencia de la *quies media* y la continuidad paradójica del movimiento de vaivén, así como hacer ver, contrariamente a toda la tradición milenaria, que dos cuerpos, por lo menos si son de «naturaleza» o de «homogeneidad» (es decir, peso específico) idéntico, caen con la misma velocidad, sea cual fuere el

* Artículo extraído de *Mélanges offerts à Étienne Gilson*, Toronto-París, Pontifical Institute of Medieval Studies, 1959, pp. 351-372.

[1] Giambattista Benedetti nació en Venecia en 1530. Aunque perteneció a una familia patricia (lo que no olvida nunca mencionar en las guardas de sus libros), en 1567 se convirtió en «matemático del duque de Saboya» y lo fue hasta su muerte (en 1590). Cf. sobre Benedetti el trabajo de R. Bordiga en los *Atti di Reale Istituto Veneto*, 1925-1926; mis *Études galiléennes*, I y II, París, 1939; y Raffaele Giacomelli, *Galileo Galilei giovane e il suo «De motu»*, Pisa, 1949.

peso individual de cualquiera de ellos. También es de Galileo el mérito de haber sabido generalizar la proposición de Benedetti y extenderla a *todos* los cuerpos sin distinción de «naturalezas», pero, aun cuando no sea verdad que el primer paso sea el que cuente, es seguro que facilita el segundo.

En el prefacio (dedicatoria a Gabriel de Guzmán) de su obra *Resolución de todos los problemas de Euclides*[2], en la que, contando apenas veintitrés años, dio la primera manifestación de su brillante talento de geómetra, Benedetti explica a su ilustre corresponsal que la doctrina de Aristóteles, según la cual los cuerpos pesados caen más deprisa que los ligeros y esto en la proporción misma de sus pesos, debe corregirse en dos puntos esenciales: primero, no es el *peso* en tanto que tal, sino el *exceso* de peso del móvil sobre el del medio ambiente el que determina la velocidad de la caída; además, no es el *peso* individual del cuerpo en cuestión, sino sólo su peso específico lo que entra en juego. Pero demos la palabra al mismo Benedetti. Es interesante ver cómo el pensamiento, aún torpe, del joven geómetra se abre penosamente camino hacia el gran descubrimiento. Tanto más cuanto que veinte años más tarde Benedetti va a enfrentarse de nuevo a los mismos problemas y a tratarlos entonces con una claridad y precisión perfectas[3].

Como Tartaglia en su *Nova scientia* (de 1537), Benedetti no va a ocuparse más que de los movimientos de los cuerpos «homogéneos» de forma semejante: «Sabe, pues», escribe a Guzmán, «que la proporción de un cuerpo con [otro] (con tal de que sean homogéneos y de formas iguales) es la misma que

[2] *Resolutio omnium Euclidis problematum aliorumque una tantummodo circuli data apertura,* Venecia, 1553.

[3] El prefacio en cuestión fue publicado de nuevo por Benedetti en 1554 bajo el título *Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem* (Venecia, 1554) y reeditado por G. Libri en el volumen III de su *Histoire des sciences mathématiques en Italie,* nota XXV (París, 1840, 258 pp.). Como el librito de Benedetti es extremadamente raro, voy a citarlo según la reedición de Libri. A pesar de su importancia, la obra de Benedetti no parece haber atraído la atención de sus contemporáneos: no se la encuentra citada en ninguna parte, por lo menos que yo sepa. En cambio, fue objeto de un descarado plagio por Jean Taisnier, que la reprodujo textualmente, y con las figuras, en su *Opusculum... de natura magnetis... item de motu continuo,* etc., Colonia, 1562. Ahora bien, cosa curiosa, a pesar de la protesta vehemente de Benedetti en la introducción a su *De gnomonum umbrarumque solarium usu,* Turín, 1574, es a Taisnier (y no a Benedetti) a quien se refiere Stevin como el primero que enseñó que los cuerpos graves (de peso específico idéntico) realizan su movimiento de caída al mismo tiempo; cf. Simón Stevin, Apéndice de la estática, *Obras matemáticas,* Leiden, 1634, p. 501.

la de una propiedad con otra (*Libri* III, nota XXV, p. 258). Pero no es esta proporción la que observan las velocidades de los cuerpos en caída libre, sino otra (*ibid.*, p. 259):

Supongo, pues, que la proporción de los movimientos [velocidades] de los cuerpos semejantes, pero de homogeneidades diferentes, que se mueven en el mismo medio y [a través] del mismo espacio es [la] que se encuentra entre los excesos (sobre todo de sus pesos, o de sus ligerezas de peso) con relación al medio, a condición de que estos cuerpos sean de forma semejante. Y *vice versa*, es decir, que la proporción que se encuentra entre los susodichos excesos con relación al medio, es la misma que la [que se encuentra entre] sus movimientos. Lo que se demuestra del modo siguiente: Establezcamos un medio uniforme *bfg* (por ejemplo, agua), en el que estén colocados dos cuerpos [esféricos] de homogeneidades diferentes, es decir, de especies diferentes (fig. 1). Admitamos que el

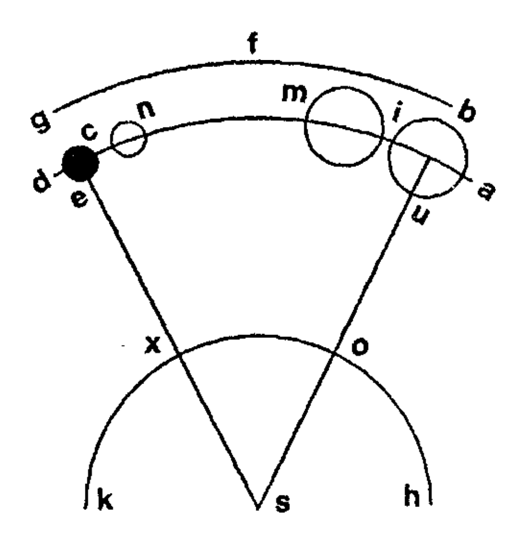


FIG. 1

cuerpo *d.e.c* es de plomo y el cuerpo *a.u.i* de madera, y que cada uno de ellos es más pesado que uno parecido, pero de agua; admitamos que estos cuerpos esféricos y acuosos son *m* y *n*; coloquemos el centro del mundo en *s*; admitamos que el término *ad quem* del movimiento sea la línea *h.o.x.k*, y el término *a quo*, la línea *a.m.d*... [y que] los dos giran alrededor del centro del mundo; entonces, si se prolongan las líneas *s.o* y *s.x* hasta los términos *a quo* de estas líneas, las líneas interceptadas por estos

términos serán iguales... Establezcamos además que el centro del cuerpo *a.u.i* está colocado en el punto de intersección de la línea *s.o* prolongada con la línea *a.m.d*, y [el centro] del cuerpo *d.e.c* [en el de] la línea *s.x* [con *a.m.d*]; admitamos a continuación que el cuerpo acuoso igual al cuerpo *a.u.i* es *m* y que el cuerpo *n* es igual al cuerpo *d.e.c*; [admitamos finalmente] que el cuerpo *d.e.c* es ocho veces más pesado que el cuerpo *n* y el cuerpo *a.u.i.* dos veces [más pesado] que el cuerpo *m*.

Digo por lo tanto que la proporción del movimiento del cuerpo *d.e.c* con el movimiento del cuerpo *a.u.i* (admitida la hipótesis) es la misma que la que se encuentra entre los excesos de pesos de los cuerpos *d.e.c* y *a.u.i* con relación a los cuerpos *n* y *m*, es decir que el tiempo en el que se moverá el cuerpo *a.u.i.* será séptuple con relación al tiempo en el que se moverá el cuerpo *d.e.c.* Pues está claro por la proposición III del libro de Arquímedes *De insidentibus* que si los cuerpos *a.u.i* y *d.e.c* fueran igualmente pesados que los cuerpos *m* y *n*, no se moverían de ningún modo, ni hacia arriba, ni hacia abajo, y por la proposición VII del mismo [libro] que los cuerpos más pesados que el medio [en el que se han colocado] se dirigen hacia abajo; en consecuencia los cuerpos *a.u.i* y *c.e.d* se dirigirán hacia abajo y la resistencia de lo húmedo (es decir, del agua) al [movimiento del] cuerpo *a.u.i* estará en proporción subdoble, y al del cuerpo *d.e.c* subóctuple; por ello se deduce que el tiempo en el que el centro del cuerpo *d.e.c* atravesará el espacio dado, estará en proporción séptupla (siete veces más largo) con el tiempo en que atravesará el centro del cuerpo *a.u.i* (hablo del movimiento natural, pues la naturaleza actúa por todas partes por las líneas más cortas, es decir, por líneas rectas, a menos que algo lo impida): por eso, tal como se puede deducir del libro de Arquímedes, citado anteriormente, la proporción de movimiento a movimiento no es conforme a la proporción de las gravedades *a.u.i* y *d.e.c*, sino a la proporción de la gravedad de *a.u.i* con *m* y de *d.e.c* con *n*. La inversa de esta suposición es suficientemente clara por esta misma suposición.

Digo, pues, que si hubiera dos cuerpos de la misma forma y de la misma especie [estos cuerpos], ya fueran iguales o distintos, se moverían, en el mismo medio, por un espacio igual en un tiempo igual. Esta proposición es muy evidente, pues si se movieran en un tiempo desigual, deberían ser de especies diferentes, o moverse a través de medios diferentes... cosas que se oponen, todas, a la hipótesis.

Pero, para demostrarlo más claramente, [admitamos que] *g* y *o* son dos cuerpos semejantes (esféricos) y homogéneos y que *a.c* es el medio uniforme (fig. 2); que las líneas *b.d.f*, *p.i.q* y *r.m.u.t* son líneas terminales circulares equidistantes que tienen *s* como centro; que la línea *p.i.q* pasa por el término *a quo* y la línea *r.m.u.t* por el término *ad quem* [del movimiento]. Demuestro ahora que los cuerpos *g* y *o* se moverán a través del susodicho espacio en el citado medio en tiempos iguales.

Si, por ejemplo, el cuerpo *o* fuera en cantidad [volumen] cuádruple del cuerpo *g*, está claro, por lo que se ha dicho más arriba, que será igualmente cuatro veces más pesado que *g* (pues si fuera igual a él en cantidad y peso, no habría ninguna duda de que estos cuerpos se moverían en tiempos iguales); divido pues, en la imaginación, el cuerpo *o* en cuatro partes iguales [que forman cuerpos] semejantes a su todo (de forma esférica); [estos cuerpos] son *hkln* cuyos centros los coloco en la línea *p.q* de tal modo que la distancia entre *l* y *k* sea lo mismo que la distancia entre *l* y *n*. Divido a continuación la línea *k.l* en dos partes iguales en el punto *i*; éste, según la ciencia común y según Arquímedes, será el centro

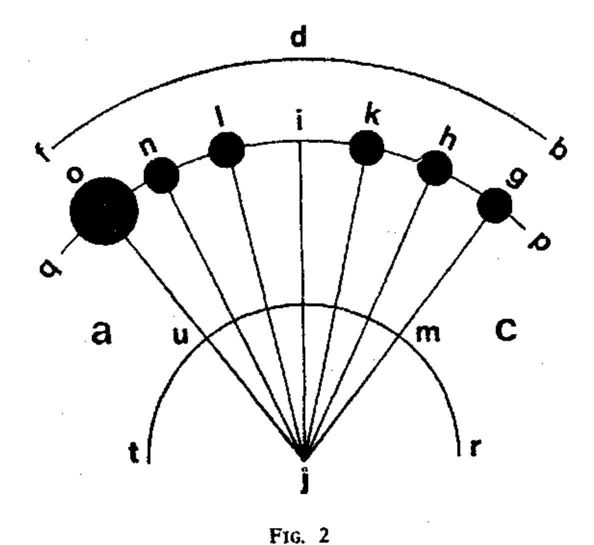


FIG. 2

de gravedad de los cuerpos *hkln;* además es evidente que cada uno de los cuerpos *hkln* se moverá desde [la línea] *p.i.q*, hasta *r.m.u.t* en el mismo tiempo que el cuerpo *g*... y por lo tanto que todos los cuerpos *hkln* juntos, arrojados en el mismo momento se moverán igualmente, es decir, en el mismo tiempo, y que siempre la línea que pasa por sus centros de gravedad será equidistante de la línea *r.m.u.t*

En fin, si imaginamos que la línea trazada por el centro del cuerpo *o* y el punto *i* está dividida en dos partes iguales... entonces este punto de división será el centro de gravedad de los [cuerpos] *hkln* y del cuerpo *o;* ahora bien, si dicha línea movida por la fuerza de los cuerpos citados anteriormente se despegase de la línea *p.q* o [de una línea] equidistante a ésta, el cuerpo *o*, movido por un movimiento natural, se movería en un tiempo igual por un espacio igual al [que es atravesado] por los cuerpos *hkln* (esto porque la línea *o.i*, habiendo sido equidistante de *r.m.u.t* al principio del mo-

vimiento, permanecerá siempre equidistante de él), espacio que es el mismo que [el espacio] atravesado por el cuerpo *g*.

Puedo, pues, partiendo de ahí demostrar una parte de la citada suposición: a saber, que si hubiera dos cuerpos, de igual forma, pero de homogeneidades diferentes y de corporeidades desiguales, siendo cada uno de ellos más pesado que el medio en el que se mueven, y si el menor fuera de una especie más pesada que el mayor y el mayor más pesado que el menor, la susodicha suposición sería verdadera.

Supongamos, por ejemplo, dos cuerpos *m* y *n* de la misma forma, pero de homogeneidades diferentes; que sean además desiguales (pues si fueran iguales, no habría duda alguna); que de estos cuerpos *m* sea el mayor pero que la especie del cuerpo *n* sea más pesada que la especie del cuerpo *m;* que el cuerpo *m* sea sin embargo más pesado que el cuerpo *n* y cada uno de ellos más pesado que el medio en el que se mueven. Digo, pues, que la suposición es verdadera. Admitamos que el primer cuerpo sea *a.u.i* [que sea] igual y semejante por su forma al cuerpo *m* pero de la especie del cuerpo *n*. Entonces, para los cuerpos *a.u.i* y *m* la suposición es perfectamente evidente; pero, según la demostración dada anteriormente, el cuerpo *n* se moverá en el mismo tiempo que el *cuerpo a.u.i;* por eso mismo la proposición es constante.

De donde resulta que el movimiento más rápido no está causado por el exceso de gravedad o ligereza del cuerpo más rápido con relación a las del cuerpo más lento (siendo los cuerpos de formas semejantes) sino, en verdad, por la diferencia específica de los cuerpos con relación a la gravedad y ligereza [del medio]; lo que no es conforme a la doctrina de Aristóteles, ni de ninguno de sus comentaristas que he tenido ocasión de ver o leer; o con los que he podido conversar.

J. B. Benedetti insiste mucho en la originalidad de su pensamiento[4] y en la autenticidad de sus descubrimientos y no tenemos razón alguna para sospechar que falte a la verdad. Por lo demás, su teoría como tal no se encuentra en los comentaristas antiguos, medievales o modernos, de la *Física* de Aristóteles. No es, sin embargo, menos cierto que en ellos encontramos teorías bastante análogas —a saber, las que hacen depender la velocidad del cuerpo movido no de la relación geométrica de la potencia con la resistencia $(V = P : R)$, sino de la del *exceso* de la primera sobre la segunda $(V = P - R)$—, para permitirnos compararlas y hacernos ver en la doctrina de Benedetti —esencialmente la sustitución del esquema de Aristóteles por el de

[4] Insiste quizá incluso demasiado. Así insiste en hacernos saber que si bien fue alumno de Tartaglia, éste no le enseñó más que los cuatro primeros libros de Euclides.

Arquímedes— no un accidente histórico, sino el resultado de una larga tradición.

Una treintena de años después de la publicación del *Resolutio omnium problematum* Benedetti publicó una colección de artículos, cartas y pequeños tratados (*Diversarum especulationum mathematicarum et physicarum liber*[5], Taurini, 1585) que en su parte física contiene un ataque en regla a la física de Aristóteles, respecto a la que Benedetti no está lejos de profesar la famosa aserción de Pedro Ramus («todo lo que ha dicho Aristóteles es falso»); y una exposición —sin duda, la mejor que se ha hecho nunca— de la dinámica del *impetus*, de la que Benedetti se proclama un resuelto partidario. Como todos sus predecesores, dirige su crítica primero contra la teoría aristotélica del tiro y, más radical que un gran número de ellos, estima que esta teoría no vale nada.

Así nos dice (p. 184):

Aristóteles al final del libro VIII de la *Física* estima que el cuerpo movido violentamente y separado de su motor, se mueve, porque es movido, durante un cierto tiempo, por el aire o por el agua que le siguen. Lo que no puede ocurrir, pues el aire, que para huir del vacío penetra en el lugar abandonado por el cuerpo, no sólo no empuja el cuerpo sino que más bien lo retiene; efectivamente [con ocasión de un movimiento tal] el aire es violentamente repelido por el cuerpo y separado por él de su parte anterior; por eso se le resiste; además cuanto más se condensa el aire en la parte anterior, tanto más raro se hace en la parte posterior. De este modo, enrareciéndose por violencia, no permite al cuerpo avanzar con la misma velocidad con la que se lanzó, pues todo agente sufre al actuar. Por eso cuando el aire es arrastrado por el cuerpo, este mismo es retenido por el aire. Pues este enrarecimiento del aire no es natural sino violento y por esto el aire le opone resistencia y atrae el móvil hacia sí, pues la naturaleza no soporta que entre uno y otro [es decir, entre el móvil y el aire] haya un vacío; por eso están siempre contiguos, y, como el móvil no puede separarse del aire, su velocidad se ve obstaculizada.

[5] No voy a exponer aquí el contenido de la compilación de Benedetti en la que se encuentran muchas cosas interesantes, tales como, por ejemplo, el cálculo de las diagonales del cuadrilátero inscrito en un círculo (quince años antes que Vieta) y un estudio del equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes, con la teoría de una prensa hidráulica (casi veinte años antes de la publicación de los *Wisconstighe Gedachtnissen* de Stevin), así como una excelente exposición del sistema del mundo de Copérnico: yo me limitaré a estudiar su dinámica.

De este modo no es la reacción del medio lo que explica el movimiento persistente del proyectil; muy al contrario, esta reacción no puede más que impedirlo. En cuanto al movimiento mismo, ya sea violento o natural, se explica siempre por una fuerza motriz inmanente al móvil. En efecto,

la velocidad de un cuerpo separado de su primer motor proviene de una cierta impresión natural, de una cierta impetuosidad recibida en dicho móvil *(ibid.)*. Pues todo cuerpo grave, ya se mueva natural o violentamente, recibe en sí un *impetus*, una impresión del movimiento, de tal modo que separado de la propiedad que lo mueve, continúa durante un cierto lapso de tiempo moviéndose por sí mismo. Cuando el cuerpo se mueve con un movimiento natural, su velocidad aumenta sin cesar; efectivamente el *impetus* y la *impressio* que en él existen aumentan sin cesar, pues está constantemente unido a la propiedad que lo mueve. De ahí resulta también que si después de haber puesto en movimiento la rueda con la mano, se levanta la mano, la rueda no se detiene enseguida, sino que continúa girando durante cierto tiempo *(ibid.*, p. 286).

¿Qué es este *impetus*, esta fuerza motriz, causa del movimiento inmanente al móvil? Es difícil de decir. Es una especie de cualidad, potencia o propiedad que se imprime al móvil, o mejor aún, que lo impregna debido a su asociación con el motor (que la posee), y a consecuencia de ella, debido a su participación en su movimiento, y a consecuencia de ella. Es también una especie de *habitus* que adquiere el móvil, y esto tanto más cuanto más tiempo está sometido a la acción del motor[6]. Así, por ejemplo, si se lanza con la honda una piedra más lejos de lo que se lanzaría con la mano, es porque la honda da *numerosas* revoluciones, lo cual la «impresiona» más... (p. 160):

La verdadera razón por la que un cuerpo grave es lanzado más lejos por la honda que por la mano, la tenemos aquí: cuando gira en la honda, el movimiento produce en el cuerpo grave una im-

[6] El razonamiento de Benedetti puede parecernos absurdo; sin embargo si, con los partidarios de la dinámica del *impetus* se concibe —o se imagina— la fuerza motriz como una cualidad, *qualitas motiva*, análoga por ejemplo al calor, el aparente absurdo desaparece: está claro que un cuerpo se torna tanto más caliente —se impregna tanto más de calor— cuanto más tiempo permanece cerca del fuego.

Es así como razona aún el joven Galilei en su *De motu*, y mucho más tarde, Gassendi, que en su *De motu impresso a motore translato* (París, 1652) explica la persistencia del movimiento en el móvil por haberse acostumbrado este último al movimiento; contra lo cual protesta muy justamente G. A. Borelli en su *Theorica planetarum medicearum*..., Florencia, 1664, p. 57.

presión mayor del *impetus* de lo que lo haría la mano; de tal forma que el cuerpo liberado de la honda, guiado por la naturaleza, prosigue su camino por una línea contigua a la rotación que hizo en último lugar. Y no hay que dudar de que la honda puede imprimir al cuerpo un *impetus* mayor, pues, a consecuencia de las numerosas revoluciones, el cuerpo recibe un *impetus* siempre mayor. En cuanto a la mano cuando hace girar el cuerpo, no es el centro de su movimiento (aunque lo diga Aristóteles) y la cuerda no es el semidiámetro.

Lo que quiere decir que la circularidad del movimiento alegada por Aristóteles no tiene que ver nada con el problema. Además, el movimiento circular produce en el cuerpo un *impetus* a moverse en *línea recta.* En efecto (p. 160):

La mano gira, dentro de lo que cabe, siguiendo un círculo; este movimiento de la mano en círculo obliga al proyectil a tomar, él también, un movimiento circular, mientras que por su inclinación natural este cuerpo, desde el momento en que ha recibido un *impetus,* querría continuar su camino en línea recta como se ve por la figura aquí adjunta (fig. 3) en la que *e* designa este cuerpo

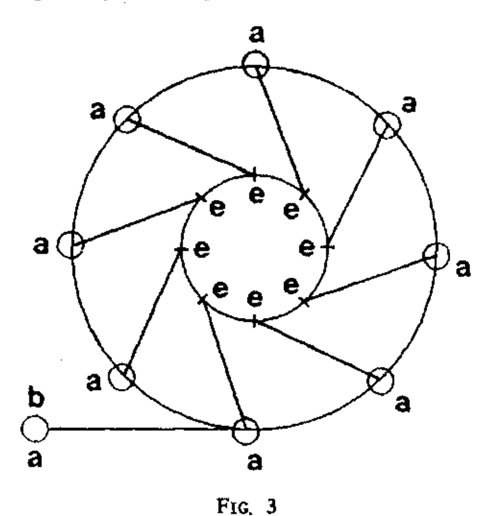


Fig. 3

y *a.b* la línea recta tangente a la circunvolución *a.a.a.a* cuando el cuerpo queda libre[7].

[7] Citado por P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci,* vol. III, París, 1913, p. 216.

Así, es siguiendo una línea recta, tangente a la circunferencia que le hacía describir la mano o la honda, como va a moverse el cuerpo libre de proseguir la carrera conforme a su «inclinación natural», es decir, a la naturaleza propia del *impetus* que le ha conferido el movimiento circular. Pero no proseguirá durante mucho tiempo su movimiento rectilíneo. Pues

este *impetus impressus* decrece continuamente y poco a poco se mete en él la inclinación de la gravedad, la cual, al componerse (mezclándose) con la impresión hecha por la fuerza, no permite que la línea *a.b* permanezca recta durante mucho tiempo; rápidamente se hace curva, porque el cuerpo en cuestión se mueve por dos propiedades, de las cuales, una es la violencia impresa y otra, la naturaleza. Esto, contrariamente a la opinión de Tartaglia que niega que cualquier cuerpo pueda moverse simultáneamente por movimiento natural y violento [8].

La explicación dada por Benedetti, bastante conforme además con la tradición, puede con razón parecer confusa. Lo que a decir verdad no debería asombrarnos demasiado: la noción de *impetus* es, efectivamente una noción muy confusa. En el fondo no hace más que traducir en términos «científicos» una concepción fundada en la experiencia cotidiana, en un dato del sentido común.

¿Qué es, en efecto, el *impetus*, la *forza*, la *virtus motiva* sino una condensación, si se puede decir, del esfuerzo muscular y del *impulso?* Por ello concuerda muy bien con «los hechos» —reales o no— que forman la base experimental de la dinámica medieval; y particularmente con «el hecho» de la aceleración inicial del proyectil; este hecho, lo explica incluso: ¿no se necesita tiempo para que el *impetus* se apodere del móvil? Todo el mundo sabe además que para saltar un obstáculo hay que «tomar impulso»; que la carretilla que se empuja o de la que se tira, se pone en marcha lentamente y aumenta progresivamente de velocidad: toma también ella impulso; y todo el mundo sabe —incluso los niños que juegan a la pelota— que para dar en el blanco hay que ponerse a una cierta distancia

[8] Benedetti hace alusión a la teoría, expuesta por Tartaglia en su *Nova scientia* (Venecia, 1537), según la cual una mezcla o una mixtión del movimiento violento con el movimiento natural es rigurosamente imposible; cf. *Nova scientia*, libro I, prop. V.

—no demasiado cerca— de éste: ello para permitir que la pelota tome impulso[9].

Impetus, impresión, cualidad o propiedad motriz; todo esto es algo que pasa del moviente al móvil y que, habiendo entrado en el móvil, o habiéndolo impregnado e impresionado, lo afecta; por ello se opone a otras cualidades o propiedades incluso naturales (por eso los *impetus* se entorpecen mutuamente y pueden coexistir difícilmente en el móvil). Así, el *impetus* del movimiento violento entorpece la acción de la gravedad natural; impide a los cuerpos graves moverse hacia abajo; en otros términos, los hace más ligeros.

Hay que señalar, sin embargo, que la concepción del *impetus* es en Benedetti un poco más precisa que en sus predecesores medievales. Por ello insiste mucho más que estos últimos en el carácter *lineal* del *impetus*, rechazando, al parecer, la noción de *impetus* «rotatorio», aunque por otro lado reprocha a Aristóteles el haberse equivocado incluso en su clasificación de los movimientos en naturales y violentos y de no haber comprendido que sólo el movimiento circular es un movimiento verdaderamente natural y no el movimiento rectilíneo que no lo es completamente nunca; ni siquiera el de caída de los graves y el de elevación de los ligeros (p. 184):

el movimiento rectilíneo de los cuerpos naturales hacia arriba o hacia abajo no es natural *primo* y *per se* porque el movimiento natural es perpetuo o mejor dicho incesable y no puede ser de otro modo que circular, y porque ninguna parte unida a su todo puede tener un movimiento natural distinto del que pertenece al todo. Pero si [tal parte] fuera rechazada y separada de su todo y se moviera libremente, procedería espontáneamente y por la vía más rápida al lugar asignado por la naturaleza a su todo. Este último movimiento no es *primo* y *per se* [movimiento] natural del citado cuerpo, puesto que tiene su origen en una causa contraria a su naturaleza, es decir, en el hecho de que está fuera de su lugar [propio, pero en otro] donde se encuentra en oposición con su naturaleza. Por consiguiente, tal movimiento es parcial y no totalmente natural. Ahora bien, el movimiento propio y natural es el

[9] Los artilleros y arcabuceros de la Edad Media y del Renacimiento (e incluso los de la época moderna) creían todos en la aceleración de la bala al principio de su trayectoria; en lo que no se equivocaban del todo, pues a presión de los gases engendrados por la explosión de la pólvora no cesa cuando la bala sale de la boca de la pieza. Pero no es de ahí de donde proviene la creencia en la aceleración, firmemente establecida mucho antes de la invención de las armas de fuego: desde la Antigüedad todo el mundo creía en la aceleración inicial de la flecha.

que deriva de la naturaleza del mencionado cuerpo, lo que no es el caso del movimiento recto. *Ergo*...[10].

El razonamiento de Benedetti que acabo de citar debería conducirle, al parecer, a la afirmación del carácter privilegiado del movimiento circular y del de rotación con relación al movimiento en línea recta. Ahora bien, como hemos visto, es exactamente lo contrario lo que nos dice: el movimiento circular de la mano o de la honda imprime al proyectil un *impetus* en línea recta (p. 160):

no silenciemos un efecto que se produce en esta circunstancia. Cuanto más hace crecer el aumento de velocidad del movimiento giratorio el *impetus* del proyectil, más necesario es que la mano se sienta tirada por este cuerpo y esto a través de la cuerda; cuanto mayor es el *impetus* del movimiento que se imprime al cuerpo, más potente es la inclinación de este cuerpo a moverse en línea recta; mayor también es la fuerza con la que tira con el fin de poder coger este movimiento.

Efectivamente, de un modo general (p. 287):

Todo cuerpo grave que se mueve, bien por su naturaleza, bien por violencia, desea naturalmente moverse en línea recta; podemos reconocerlo claramente cuando damos vueltas el brazo para lanzar piedras con una honda; las cuerdas adquieren un peso tanto mayor y tiran de la mano tanto más [fuertemente] cuanto más deprisa gira la honda y cuanto más rápido es el movimiento; esto viene del apetito natural que está asentado en la piedra y que la empuja a moverse en línea recta.

Y no es sólo el movimiento de circunvolución lo que engendra un *impetus* rectilíneo, y, por tanto, una fuerza centrífuga, en un cuerpo que realiza un circuito alrededor de un centro que es exterior a él; ocurre lo mismo en lo que concierne al movimiento de rotación. Pues el movimiento de rotación no es otra cosa que un conjunto de movimientos de circunvolución alrededor de su eje de las partes del cuerpo que gira sobre sí mismo: éstas están todas animadas por un *impetus* lineal y ésa es justamente la explicación del hecho de que tal movimiento no sea perdurable como parecía que tenía que ser: en efecto, en un movimiento de rotación no estamos ante un movimiento natural, sino ante un conjunto de movimientos vio-

[10] La teoría de la gravedad desarrollada aquí por Benedetti es la de Copérnico.

lentos e incluso sometidos a una doble violencia (p. 159; confrontar Duhem, *op. cit.*, p. 216).

No es a un movimiento de rotación, sino a un movimiento rectilíneo al que cada una de las partículas de la rueda de molino sería arrastrada por su *impetus* si fuera libre; durante el movimiento de rotación cada uno de esos *impetus* parciales es violento y, por lo tanto, se altera.

Imaginemos una rueda horizontal, tan perfectamente igual como fuera posible, que reposara en un único punto; imprimámosle un movimiento de rotación con toda la fuerza que podamos emplear, luego dejémosla; ¿de dónde viene que su movimiento de rotación no sea perpetuo?

Esto ocurre por cuatro causas.

La primera es que un movimiento tal no es natural de la rueda.

La segunda consiste en que la rueda, aun cuando descansara en un punto matemático, requeriría necesariamente por encima de ella un segundo polo capaz de mantenerla horizontal y este polo debería ser realizado por algún mecanismo corporal; resultaría de él un cierto rozamiento de donde provendría una resistencia.

La tercera causa se debe al aire contiguo a esta rueda que la frena continuamente; y por este medio resiste al movimiento.

He aquí ahora la cuarta causa: consideremos cada una de las partes corporales que se mueve con la ayuda del *impetus* que le ha sido impreso por una propiedad moviente extrínseca; esta parte tiene una inclinación natural al movimiento rectilíneo y no al movimiento curvilíneo; si una partícula tomada en la circunferencia de dicha rueda fuera separada de este cuerpo, no cabe ninguna duda de que durante un cierto tiempo, esta parte separada se movería en línea recta a través del aire; podemos reconocerlo en un ejemplo sacado de las hondas con las que se lanzan piedras; en estas hondas el *impetus* del movimiento que se ha impreso al proyectil describe, por una especie de propensión natural, un camino rectilíneo; la piedra lanzada comienza un camino rectilíneo siguiendo la recta que es tangente al círculo que describía al principio y que le toca en el punto en que se encontraba la piedra cuando fue abandonada, como es fácil admitir.

Esta misma razón hace que cuanto mayor es la rueda, mayor es el *impetus* que reciben las diversas partes de la circunferencia de esta rueda; por eso ocurre muy a menudo que cuando queremos detenerla lo conseguimos no sin esfuerzo ni dificultad; efectivamente, cuanto mayor es el diámetro de un círculo, menos curva es la circunferencia de este círculo y menos por lo tanto se debilita el *impetus* rectilíneo por la desviación que le impone la trayectoria circular.

El movimiento de las partes que se encuentran en dicha circunferencia se acerca por lo tanto más al movimiento conforme a la

inclinación que la naturaleza les ha atribuido, inclinación que consiste en desplazarse siguiendo la línea recta; por eso es tanto más difícil contrarrestarla.

Benedetti reemprende el estudio de los problemas en cuestión (relación del movimiento circular y del movimiento en línea recta, no persistencia del movimiento rotatorio) en una carta a Pablo Capra de Novara, duque de Saboya, en la que aplica su concepción a la explicación del hecho de que la peonza se mantiene en posición vertical mientras gira (rápidamente) y cae cuando deja de girar. Benedetti acepta, por supuesto, la explicación tradicional de este hecho por la incompatibilidad de los *impetus* que se entorpecen mutuamente en su acción, y por el aligeramiento del cuerpo en movimiento en comparación con el mismo cuerpo en reposo, pero la completa, o mejor dicho, la aclara, por su concepción del carácter violento de la rotación (pp. 285-286):

Me preguntáis en vuestras cartas si el movimiento circular de una rueda de molino que hubiera sido puesta en marcha oportunamente podría durar perpetuamente en el caso de que ésta descansara, por así decirlo, en un punto matemático y de que fuera perfectamente redonda y perfectamente pulida.

Contesto que tal movimiento no podría ser perpetuo e incluso que no podría durar mucho tiempo: primero, está frenado por el aire que le opone una cierta resistencia en el perímetro de la muela; pero además está frenado por la resistencia de las partes del móvil. Una vez puestas en movimiento estas partes, tienen un *impetus* que las lleva naturalmente a moverse en línea recta, pero como están unidas juntamente y se continúan una a otra, sufren violencia cuando se mueven en círculo; es por fuerza en un movimiento tal cuando permanecen unidas entre ellas; cuanto más rápido se hace el movimiento, más se acrecienta en ellas esta natural inclinación a moverse en línea recta y más contraria a su propia naturaleza es la obligación de girar en círculo. Con el fin de que continúen en su natural unión a pesar de su propia tendencia a moverse en línea recta una vez que son puestas en marcha, es preciso que cada una de ellas resista tanto más a la otra y que cada una de ellas tire, por así decir, tanto más vivamente hacia atrás de la que se encuentra delante de ella, cuanto más rápido es el movimiento de rotación.

De la inclinación de las partes de los cuerpos redondos a la rectitud del movimiento, resulta que una peonza que gira alrededor de sí misma con gran violencia permanece, durante un cierto lapso de tiempo, casi recta sobre su punta de hierro, no inclinándose hacia el centro del mundo más de un lado que de otro, porque

en un movimiento tal, cada una de sus partes no tiende única y absolutamente hacia el centro del mundo, sino que más bien tiende a moverse perpendicularmente a la línea de rotación, de tal modo que un cuerpo tal necesariamente debe permanecer recto. Y si digo que sus partes no se inclinan absolutamente hacia el centro del mundo, lo digo porque, a pesar de todo, no están nunca absolutamente privadas de esta clase de inclinación, gracias a la cual el cuerpo mismo tiende hacia este punto. Es verdad sin embargo que, cuanto más rápido es, menos tiende hacia éste; dicho de otro modo, el cuerpo en cuestión se hace tanto más ligero. Esto lo demuestra muy bien el ejemplo de la flecha de arco, o cualquier otra máquina, que, cuanto más rápida es en su movimiento violento, más propensión tiene a ir recta, lo que quiere decir que se inclina menos al centro del mundo, o dicho de otro modo, se hace más ligera [11]. Pero si queréis ver esta verdad de un modo más claro, imaginad que este cuerpo, a saber, la peonza, mientras gira muy rápidamente, se corta o divide en un gran número de partes; veréis entonces que éstas no bajarán enseguida hacia el centro del mundo, sino que se moverán, por así decir, rectamente hacia el horizonte. Lo que (que yo sepa) nunca se ha observado a propósito de la peonza [12]. Y el ejemplo de tal peonza o de otro cuerpo de esta clase, demuestra muy bien hasta qué punto los peripatéticos se equivocan en lo referente al movimiento violento, movimiento que juzgan provocado por la reacción del aire... mientras que, realmente, el medio desempeña una función diferente, a saber, la de resistir al movimiento.

El medio, en la física aristotélica, desempeña una doble función; es a la vez resistencia y motor; la física del *impetus* niega la acción motriz del medio. Benedetti añade que incluso su acción retardataria ha sido mal comprendida y, sobre todo, mal evaluada por Aristóteles. Aristóteles comprendió mal, o más exactamente, no comprendió en absoluto, el papel de las matemáticas en la ciencia física. Por ello llegó al error casi en todo; ahora bien, sólo partiendo de los «fundamentos in-

[11] El razonamiento de Benedetti es un bello ejemplo de la confusión conceptual que reina en la dinámica pregalileana a propósito de la gravedad. Que la peonza pueda hacerse más ligera por su rápida rotación nos parece un absurdo demasiado flagrante para poder ser admitido por cualquiera; sin embargo Benedetti al afirmarlo no hace más que sacar una conclusión correcta de la doctrina, comúnmente admitida, de la incompatibilidad —relativa o absoluta— de los *impetus* natural y violento, de donde resulta que un cuerpo animado por un movimiento horizontal es menos pesado que este mismo cuerpo en reposo.

[12] Benedetti tiene razón: el carácter rectilíneo del *impetus* del movimiento circular no fue nunca enseñado antes de él.

quebrantables» de la filosofía matemática —lo que quiere decir, realmente, partiendo de Arquímedes e inspirándose en Platón— se puede sustituir la física de Aristóteles por una física mejor, fundada en las verdades que el intelecto humano conoce por sí.

Por ello, Benedetti es plenamente consciente de la importancia de la empresa. Toma incluso posturas heroicas (pp. 168 y siguientes):

Es tal, ciertamente, nos dice, la autoridad de Aristóteles, que es difícil y peligroso escribir algo contra lo que ha enseñado, particularmente para mí, a quien ha parecido siempre admirable la sabiduría de este hombre. Sin embargo, empujado por el celo de la verdad, por cuyo amor, si viviera, habría ardido él mismo, ... no dudo en decir, en interés común, en qué me fuerza a separarme de él el fundamento inquebrantable de la filosofía matemática.

Como hemos aceptado la tarea de probar que Aristóteles se equivocó en la cuestión de los movimientos locales naturales, debemos empezar por anticipar algunas cosas muy ciertas y que el intelecto conoce por sí[13]: en primer lugar, que dos cuerpos cualesquiera, graves o ligeros, de volumen igual y de figura semejante, pero compuestos de materiales diferentes y dispuestos del mismo modo, observarán en sus movimientos naturales locales la proporción de sus gravedades o ligerezas en los mismos medios. Lo que es completamente evidente por la naturaleza, desde el momento en que tomamos en consideración que la mayor velocidad o lentitud (mientras el medio permanece uniforme y en reposo) no proviene sino de las cuatro causas siguientes, a saber: a) la mayor o menor gravedad o ligereza, b) la diversidad de la forma, c) la posición de esta forma con relación a la línea de dirección que se extiende, recta, entre la circunferencia y el centro del mundo, y, en fin, d) el tamaño desigual de los móviles. De donde está claro que si no se modifican ni la forma (ni en cualidad ni en cantidad) ni la posición de esta forma, el movimiento será proporcional a la propiedad moviente que es el peso o la ligereza. Ahora bien, lo que digo de la cualidad, de la cantidad y de la posición de la misma figura, lo digo con relación a la resistencia del mismo medio. Pues la disimilitud o desigualdad de las dos figuras, o la diferente posición, modifica de un modo no desdeñable el movimiento de los cuerpos en cuestión, puesto que la forma pequeña divide más fácilmente la continuidad del medio que la grande, del mismo modo que la aguda lo hace más rápidamente que la obtusa. Así, el cuerpo que se mueve con la punta hacia delante se moverá más deprisa que el que no lo hace. Cada vez por lo tanto que dos cuerpos se enfrenten con una misma resistencia, sus movimientos serán proporcionales a sus propiedades movientes; e inversamente, cada vez que dos cuerpos tengan una sola y misma gravedad o ligereza, y

[13] Notemos esta profesión de fe platónica.

resistencias diversas, sus movimientos estarán, entre ellos, en proporción inversa a la de las resistencias... y si el cuerpo que se compara con el otro tiene la misma gravedad o ligereza, pero una resistencia menor, será más rápido que el otro en la misma proporción en que su superficie engendre una resistencia menor que la del otro cuerpo... Así, por ejemplo, si la proporción de la superficie del cuerpo mayor con la del cuerpo menor fuera de 4/3, la velocidad del cuerpo menor sería mayor que la del cuerpo mayor como el número cuaternario es mayor que el ternario.

Un aristotélico podría, e incluso debería, admitir todo esto. Pero aún hay algo que admitir, añade Benedetti, tomando de nuevo la teoría expuesta por él veinte años antes, a saber (página 168):

que el movimiento natural de un cuerpo grave en diferentes medios es *proporcional* al peso de este cuerpo en los mismos medios. Así, por ejemplo, si el peso total de cierto cuerpo grave estuviera representado por *a.i* (fig. 4) y si este cuerpo se colocara en un medio

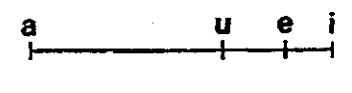


FIG. 4

cualquiera, menos denso que él mismo (pues si estuviera colocado en un medio más denso, no sería grave, sino ligero, tal como lo demostró Arquímedes), este medio le restaría la parte *e.i,* de tal modo que la parte *a.e* de este peso actuaría sola; y si este cuerpo estuviera colocado en algún otro medio, más denso pero sin embargo menos denso que el mismo cuerpo, este medio le restaría la parte *u.i.* de dicho peso, y dejaría libre la parte *a.u.*

Digo que la proporción de la velocidad de un cuerpo en el medio menos denso, a la velocidad del mismo cuerpo en el medio más denso, será como *a.e* respecto a *a.u,* lo que es mucho más conforme a la razón que si dijéramos que estas velocidades serán como *u.i* respecto a *e.i,* puesto que las velocidades están en proporción sólo con las fuerzas movientes (cuando la figura es la misma en cualidad, cantidad y posición). Lo que decimos ahora es evidentemente conforme a lo que hemos escrito más arriba, pues decir que la proporción de las velocidades de dos cuerpos heterogéneos, pero semejantes en cuanto a la figura, magnitud, etc., en el mismo medio es igual a la proporción de los mismos pesos, es lo mismo que decir que las velocidades de un solo y mismo cuerpo en diversos medios están en proporción con los pesos de dicho cuerpo en los *mismos* medios.

Sin duda, desde su punto de vista Benedetti tiene completamente razón. Si las velocidades son proporcionales a las fuerzas movientes y si una parte de la fuerza moviente (del peso) se neutraliza por la acción del medio, no es más que la parte restante lo que cuenta, y en medios cada vez más densos, la velocidad del grave disminuirá siguiendo una progresión aritmética y no geométrica como decía Aristóteles. Pero el razonamiento de Benedetti, fundado en la hidrostática de Arquímedes, no parte en absoluto de las mismas bases que el de Aristóteles: para Aristóteles, el peso del cuerpo es una de sus propiedades constantes y absolutas, y no una propiedad relativa como para Benedetti y los «antiguos». Por eso, para Aristóteles, actúa en cierto modo todo él en los diferentes medios que le oponen resistencia. Así, pues, Benedetti estima que la física de Aristóteles demuestra (p. 185) que éste «no conocía la causa de la gravedad ni de la ligereza de los cuerpos, que consiste en la densidad o rareza del cuerpo grave o ligero y en la densidad o rareza mayor o menor de los medios». La densidad o rareza, ésas son las propiedades absolutas de los cuerpos. El peso, es decir, la pesadez o ligereza no son más que sus resultantes. En sí mismos, todos los cuerpos son «graves», y los «ligeros» no lo son más que en relación al medio en que se encuentran [14]. La madera es pesada en el aire y ligera en el agua, como el hierro es pesado en el agua y ligero en el mercurio, y Benedetti, a fin de evitarnos un error en el que nos sería fácil caer, nos previene de «que las proporciones de los pesos del mismo cuerpo en medios diferentes no siguen las proporciones de sus densidades. De donde se producen necesariamente proporciones desiguales de las velocidades y, sobre todo, las velocidades de los cuerpos graves o ligeros de igual figura o materia, pero de magnitudes diferentes, siguen en sus movimientos naturales en el mismo medio una proporción muy diferente de la que afirma Aristóteles»; entre otras «a igual peso, un cuerpo más pequeño irá más deprisa», porque la resistencia del medio será menor...

En realidad, según Benedetti, Aristóteles no comprendió nunca el movimiento. Ni el movimiento natural ni tampoco el

[14] Es interesante notar que esta doctrina se encuentra en Marco Trevisano, en su tratado inédito *De macrocosmo;* cf. G. Boas, «A fourteenth century cosmology, *Proceedings of the American Philosophical Society,* vol. XCVIII (1954), pp. 50 ss., y Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages,* p. 97, Madison (Wisc.), 1958.

violento. En cuanto al primero, es decir, el movimiento de caída, «Aristóteles no habría debido declarar (en el cap. 8 del primer libro del *De Coelo*) que el cuerpo es tanto más rápido cuanto más se acerca a su meta, sino más bien que el cuerpo es tanto más rápido cuanto más se aleja de su punto de partida».

¿La oposición proclamada por Benedetti es real? ¿Es que un cuerpo que se aleja de su punto de partida (*terminus a quo*) no se acerca, por eso mismo, a su punto de llegada (*terminus ad quem*)? Se podría creer. Tartaglia, que construyó su dinámica sobre la consideración del punto de partida de los cuerpos en sus movimientos naturales y violentos, escribe: «Si un cuerpo igualmente grave se mueve con movimiento natural, *cuanto más se aleja de su principio* (punto de partida) *o se acerca a su fin, más deprisa va*[15]». Añadamos que el mismo Benedetti está lejos de despreciar la consideración del punto de llegada, del fin natural del movimiento de los graves: en efecto, en el momento mismo en que dirige a Aristóteles el reproche y la corrección que acabo de citar, escribe: «En los movimientos naturales y rectilíneos, la impresión, la impetuosidad recibida crece continuamente, pues el móvil tiene en sí mismo su causa moviente, es decir, *la propensión a ir al lugar que le está asignado por naturaleza*». Y algunas líneas más abajo, para explicar el mecanismo del movimiento de caída, Benedetti añade: «Pues la impresión crece según se prolonga el movimiento, recibiendo el cuerpo continuamente un nuevo *impetus*: efectivamente, contiene en sí mismo la causa de su movimiento que es la inclinación a ganar de nuevo su lugar natural, fuera del cual está colocado por violencia.» De este modo, como vemos bien, la *causa* del movimiento de caída es, para Benedetti, exactamente la misma que para Aristóteles, a saber, la tendencia natural del cuerpo a volver a su lugar natural. Pero el mecanismo en virtud del cual se realiza este movimiento y su aceleración está tomado por Benedetti de la dinámica del *impetus*: son *impetus* consecutivos, engendrados continuamente por la causa moviente en el curso del movimiento, los que, en cuanto causas secundarias, empujan o transportan el cuerpo hacia su lugar de destino. Ahora bien, estos *impetus* se engendran con y en el movimiento a medida que el cuerpo se aleja de su punto de partida. Sin duda, se acerca a la vez a su punto

[15] Cf. Nicolo Tartaglia, *Nova scientia*, libro I, prop. II y III.

de llegada. Pero aunque Tartaglia haya creído lo contrario, matemáticamente no es lo mismo [16].

En lo que concierne al movimiento violento, Aristóteles no comprendió gran cosa tampoco, puesto que no se dio cuenta ni del carácter esencialmente violento del movimiento hacia arriba, que no es en modo alguno efecto de una ligereza sustancial, no existente *in rerum natura*, sino de una extrusión de un cuerpo, menos grave (menos denso) que el medio en el que se sumerge, por este medio; ni de la continuidad del movimiento de vaivén y de la inexistencia del momento de reposo (*quies media*) entre la ida y la vuelta; ni de la posibilidad de que un movimiento en línea recta sea infinito en el tiempo. En lo que concierne al movimiento de vaivén (p. 183):

Aristóteles, en el lib. VIII, cap. 8 de la *Física*, dice que es imposible que algo se mueva en línea recta unas veces en un sentido, otras en otro, es decir, yendo y volviendo por dicha línea, sin que haya un reposo en estos extremos. Yo digo, al contrario, que es posible. Para el examen de esta cuestión, imaginemos (fig. 5) el círculo *u.a.n* moviéndose con un movimiento continuo en un sentido cualquiera, ya sea hacia la derecha, ya sea hacia la izquierda, alrededor del centro *o*; imaginemos también el punto *b* fuera de este círculo, donde mejor nos parezca, y tracemos desde este punto dos líneas rectas, *b.u* y *b.n* contiguas (tangentes) a este círculo en los puntos *u* y *n*. Imaginemos además, en alguna parte entre estas dos líneas, otra que podrá ser *u.n* o *c.d* o *e.f* o *g.h*; tomemos a continuación el punto *a* de la circunferencia de dicho círculo, y desde este punto, tracemos una línea hasta el punto *b*. Esta línea, *a.b*, imaginemos que está fija en el punto *b* y es sin embargo móvil, de modo que puede seguir el punto *a* en su movimiento de rota-

[16] La concepción del mecanismo de la aceleración de J. B. Benedetti es la misma que la de Nicolás de Oresme; cf. P. Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 358 ss.; *Le Système du monde*, vol. VIII, pp. 299 ss., París, 1958. La toma en consideración del alejamiento del punto de partida con preferencia al acercamiento al punto de llegada, se encuentra ya en Estratón de Lámpsaco y en Juan Filopón; en la Edad Media en Gil de Roma y en Gualterio Burley; cf. P. Duhem, *Le système du monde*, vol. III, pp. 266 ss.; Anneliese Maier, *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft*, 2.ª ed., pp. 195 ss. Roma, 1952; Marshall Clagett, *The science of mechanics...*, pp. 525 ss. En lo que concierne a Tartaglia, toda su dinámica está construida, en realidad, sobre el principio de la aceleración de los movimientos naturales y de la retardación de los movimientos violentos *a partir del punto de salida*. La proporcionalidad de la aceleración del movimiento de la caída con la distancia recorrida había sido admitida primero por Galileo, y rechazada a continuación como imposible; cf. mis *Etudes galiléennes*, II, *La loi de la chute des corps*, París, 1939.

ción alrededor del punto *o*. Entonces esta línea [*a.b*] coincidirá unas veces con *b.u*, otras con *b.n*; unas avanzará de *b.u* hacia *b.n* y otras de *b.n* hacia *b.u* como ocurre en las líneas de direcciones y retrogradaciones de los planetas; en consecuencia, el círculo *u.a.n* será como el epiciclo y *b* como el centro de la tierra. Está claro por lo tanto que cuando la línea *b.a* coincide con *b.u* o *b.n* no es

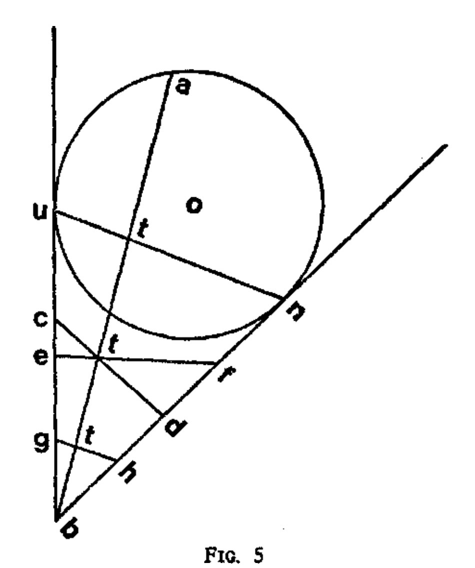


FIG. 5

inmóvil, porque retrocede en el momento mismo en que *b.n* y *b.u* tocan el círculo en un punto (solamente). Está también claro que dicha línea *b.a* corta siempre las líneas *u.n* o *c.d* o *e.f* o *g.h* en un punto *t*. Imaginemos ahora que alguien se mueve siguiendo el punto *t* sobre una cualquiera de estas líneas; está claro que ésta no estará nunca en reposo, ni aunque esté en uno de los puntos extremos. La opinión de Aristóteles no es pues verdadera [17].

En cuanto al movimiento continuo e infinitamente prolongado sobre una recta finita, basta representarse el del punto de intersección *i* de las líneas *r.x* y *o.a* del dibujo adjunto (figura 6).

[17] La negación de la *quies media* se encuentra, en la Edad Media, en Francisco de Meyronnes y Juan Buridán; cf. P. Duhem, *Le système du monde*, vol. VIII, pp. 272 ss.

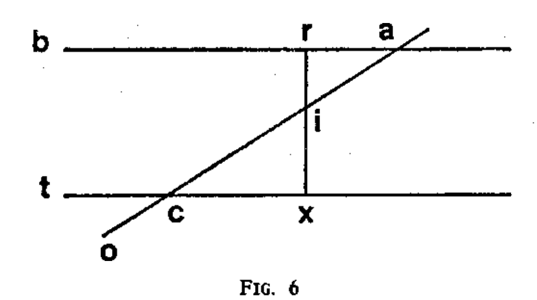


Fig. 6

Suponiendo que la línea *o.a* gira alrededor del punto *a* que se supone también fijo, está claro que la distancia entre *x* y *c* (punto de intersección entre *o.a* y *x.t*) puede crecer hasta el infinito, y que el punto *i* puede acercarse indefinidamente al punto *r*, pero nunca alcanzarlo. Su movimiento disminuirá progresivamente —e indefinidamente—, pero no conocerá nunca fin o parada [18].

El primer error de Aristóteles es evidente; ha sido haber descuidado, e incluso excluido, el razonamiento geométrico de la física, y no haberla construido sobre los fundamentos inquebrantables de la filosofía matemática.

Pero todavía no hemos agotado la lista de errores físicos de Aristóteles. Llegamos ahora al más grave: la negación del vacío. Efectivamente, Benedetti nos lo dice sin rodeos: la demostración aristotélica de la no existencia del vacío no tiene ningún valor (p. 172).

La imposibilidad del vacío, ya se sabe, la demuestra Aristóteles por el absurdo: en el vacío, es decir, en ausencia de toda resistencia, el movimiento se efectuaría con una velocidad infinita. Ahora bien, nada es más falso, estima Benedetti. Dado que la velocidad es proporcional al peso relativo del cuerpo, es decir, a su peso absoluto, disminuido —y no dividido— por la resistencia del medio, se deduce inmediatamente que la velocidad no aumenta indefinidamente, y al anularse la resistencia, la velocidad no se hace en modo alguno infinita. «Pero con el fin de demostrarlo más fácilmente, imaginémonos una infinidad de medios corporales, de los que uno sea más raro que

[18] Según Nicolás de Oresme, un movimiento sobre una distancia finita podría prolongarse indefinidamente a condición de que los espacios recorridos en los tiempos sucesivos iguales disminuyeran en la mitad; cf. Anneliese Maier, *op. cit.*, pp. 214 ss.; Marshall Clagett, *op. cit.*, pp. 528 ss.

otro en las proporciones que nos plazca, comenzando por la unidad, e imaginemos también un cuerpo *q*, más denso que el primer medio.» La velocidad de este cuerpo en el primer medio será evidentemente finita. Ahora bien, si lo colocamos en los diversos medios que hemos imaginado, su velocidad aumentará sin duda, pero no podrá nunca superar un límite. El movimiento en el vacío es perfectamente posible[19].

Pero ¿cómo será? Es decir, ¿cuál será su velocidad? Aristóteles había considerado que si el movimiento en el vacío hubiera sido posible, las relaciones de velocidad de los diferentes cuerpos serían las mismas que en el lleno. Otro error (p. 174). Aserción

completamente errónea. Pues en el lleno, la proporción de las resistencias exteriores se resta de la proporción de los pesos, y lo que queda determina la proporción de las velocidades, que será nula si la proporción de las resistencias es igual a la proporción de los pesos; por eso tendrán en el vacío proporciones de velocidad diferentes de las del lleno, a saber: las velocidades de los cuerpos diferentes (es decir, de los cuerpos compuestos de materias diferentes) serán proporcionales a sus pesos específicos absolutos, es decir, a sus densidades. En cuanto a los cuerpos compuestos de la misma materia, tendrán, en el vacío, la misma velocidad natural;

lo que se prueba por las razones siguientes:

Sean, en efecto, dos cuerpos homogéneos *o* y *g*, y sea *g* la mitad de *o*. Sean también otros dos cuerpos homogéneos con los primeros, *a* y *e*, cada uno de los cuales sea igual a *g*; imaginemos que estos dos cuerpos están colocados en los extremos de una línea cuyo punto medio es *i* (fig. 7); está claro que el punto *i* tendrá tanto

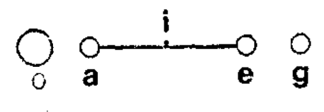


FIG. 7

peso como el centro de *o*. Por eso *i*, por la propiedad de los cuerpos *a* y *e*, se moverá en el vacío con la misma velocidad que el centro de *o*. Pero si dichos cuerpos *a* y *e* fueran separados de dicha línea,

[19] La posibilidad del movimiento en el vacío es afirmada ya, en virtud de razonamientos análogos a los de Benedetti, por Juan Filopón.

no modificarían por eso su velocidad y cada uno sería tan rápido como *g*. Por lo tanto, *g* sería tan rápido como *o* [20].

El movimiento en el vacío, la caída simultánea de los graves homogéneos: estamos ya muy lejos de la física de Aristóteles. Pero los fundamentos inquebrantables de la filosofía matemática, el modelo siempre presente en el ánimo de Benedetti de la ciencia de Arquímedes, no le permiten detenerse ahí. El error de Aristóteles no fue sólo no haber admitido la posibilidad del vacío en el mundo; fue el haberse forjado una imagen falsa del mundo y haber adaptado a ésta la física. Es su falsa cosmología —Benedetti es favorable a Copérnico, y por esto, probablemente, insiste en el carácter natural del movimiento circular del todo y sus partes (véase *supra* pp. 135-136)—, cosmología fundada en el finitismo que está en la base de su teoría del «lugar natural». Realmente, «no hay ningún cuerpo, en el mundo o fuera de él (poco importa lo que diga Aristóteles), que no tenga su lugar». ¿Lugares extramundanos? ¿Por qué no? ¿Habría algún «inconveniente en que fuera del cielo se encontrara un cuerpo infinito»? Sin duda, Aristóteles lo niega; pero sus razones no son en modo alguno evidentes, como tampoco lo son las que nos da de la imposibilidad de una pluralidad de mundos, de la inalterabilidad del cielo y de muchas otras cosas más. Todo porque una vez más Aristóteles no comprendió nunca a los matemáticos. La prueba es que negó la realidad del infinito (p. 181):

Efectivamente, piensa, pero sin probarlo e incluso sin dar razón alguna de ello, que las partes infinitas del continuo no son en acto sino en potencia; lo que no se debe aceptar, porque si el *continuum* entero al existir realmente es en acto, todas sus partes serán en acto, pues es estúpido creer que las cosas que son en acto se componen de las que no existen más que en potencia. Y tampoco se debe decir que la continuidad de estas partes hace que sean en potencia y privadas de todo acto. Tomemos por ejemplo la línea continua *a.u;* dividámosla en partes iguales en el punto *e*; no hay duda alguna de que antes de la división la mitad *a.e* (aunque esté unida a la otra *e.u*) es tanto en acto como toda la línea *a.u,* aunque no se distinga de ésta por los sentidos. Afirmo lo mismo de la mitad de *a.e,* es decir, de la cuarta parte de toda la línea *a.u,* y lo mismo de la octava, de la milésima y de la que se quiera.

[20] Es bastante divertido constatar que la misma «experiencia», imaginada por Leonardo da Vinci, condujo a éste a una conclusión rigurosamente opuesta a la que saca de ella Benedetti. Según Leonardo, dos cuerpos A y B unidos caerían dos veces más deprisa que cada uno de ellos por separado.

La multiplicidad infinita no es menos real que la finita; el infinito se encuentra en la naturaleza como actual y no sólo como potencial; y el infinito actual puede comprenderse tan bien como el potencial.

La incomprensión de las matemáticas que Benedetti reprocha tan a menudo a Aristóteles nos revela así algo mucho más grave, a saber, su anti-infinitismo. Ese es el origen último de todos sus errores; sobre todo de los que conciernen a la estructura del pensamiento.

Inversamente, es su rechazo del finitismo lo que explica en el fondo la oposición de Juan Bautista Benedetti a la doctrina y la tradición de Aristóteles y determina su lugar entre los que han conducido a la humanidad del mundo cerrado de los antiguos al universo infinito de los modernos.

GALILEO Y PLATÓN *

El nombre de Galileo Galilei está indisolublemente ligado a la revolución científica del siglo XVI, una de las más profundas revoluciones, si no la mayor, del pensamiento humano desde el descubrimiento del cosmos por el pensamiento griego: una revolución que implica una «mutación» intelectual radical de la que la ciencia física moderna es a la vez expresión y fruto [1].

A veces se caracteriza y se explica al mismo tiempo esta revolución por una especie de sublevación espiritual, por una transformación completa de toda actitud fundamental del espíritu humano: la vida activa, *vita activa*, ocupa el lugar de la *theoria, vita contemplativa*, que se había considerado hasta entonces como su forma más elevada. El hombre moderno trata de dominar la naturaleza, mientras que el hombre medieval o antiguo se esforzaba ante todo por contemplarla. Hay que explicar, pues, por este deseo de dominar, de obrar, la tendencia mecanicista de la física clásica —la física de Galileo, Descartes y Hobbes, *scientia activa, operativa*, que debía hacer al hombre «dueño y señor de la naturaleza»—; hay que considerarla como emanación simplemente de esta actitud, como aplicación a la naturaleza de las categorías del pensamiento del *homo faber* [2]. La ciencia de Descartes —*a fortiori* la de Galileo— no es (como se ha dicho) sino la ciencia del artesano o del ingeniero [3].

* Corresponde al artículo «Galileo and Plato», aparecido en el *Journal of the History of Ideas* (vol. IV, núm. 4, octubre de 1943, pp. 400-428).

[1] Cf. J. H. Randall, Jr., *The making of the modern mind*, Boston, 1926, pp. 220 ss., 231 ss.; cf. también A. N. Whitehead, *Science and the modern world*, Nueva York, 1925.

[2] No hay que confundir esta concepción ampliamente extendida con la de Bergson, para quien toda la física, tanto aristotélica como newtoniana, es, en último término, obra del *homo faber*.

[3] Cf. L. Laberthonnière, *Études sur Descartes*, París, 1935, II, pp. 288 ss., 297, 304: «Physique de l'exploitation des choses».

Esta explicación no me parece, he de confesarlo, completamente satisfactoria. Es verdad, claro está, que la filosofía moderna tanto como la ética y religión modernas, pone el acento en la acción, en la *praxis*, mucho más de lo que lo hacía el pensamiento antiguo y medieval. Esto es cierto también en lo que se refiere a la ciencia moderna: pienso en la física cartesiana, en sus comparaciones con poleas, cuerdas y palancas. Sin embargo, la actitud que acabamos de describir es más la de Bacon —cuyo papel en la historia de las ciencias no es del mismo orden[4]— que la de Galileo o Descartes. La ciencia de éstos no es obra de ingenieros o artesanos, sino de hombres cuya obra rara vez rebasó el orden de la teoría[5]. La nueva balística fue elaborada no por artificieros o artilleros, sino en contra de éstos. Y Galileo no aprendió *su* oficio de personas que trabajaban duramente en los arsenales y astilleros de Venecia. Muy al contrario: les enseñó *el suyo*[6]. Además, esta teoría explica de-

[4] Bacon es el heraldo, el *buccinator* de la ciencia moderna, no uno de sus creadores.

[5] La ciencia de Descartes y de Galileo fue, por supuesto, extremadamente importante para el ingeniero y el técnico; provocó, finalmente, una revolución técnica. Sin embargo, no fue creada y desarrollada ni por ingenieros ni por técnicos, sino por teóricos y filósofos.

[6] «Descartes artesano» es la concepción del cartesianismo que desarrolló Leroy en su *Descartes social*, París, 1931, y que llevó hasta el absurdo F. Borkenau en su libro *Der Uebergang vom feudalem zum bürgerlichen Weltbild;* París, 1934. Borkenau explica el nacimiento de la filosofía y de la ciencia cartesianas por el de una nueva forma de empresa económica, es decir, la manufactura. Cf. la crítica del libro de Borkenau, crítica mucho más interesante e instructiva que el propio libro, por H. Grossman, «Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufaktur», *Zeitschrift für Sozialforschung*, París, 1935.

En cuanto a Galileo, es asimilado a las tradiciones de los artesanos, constructores, ingenieros, etc., del Renacimiento por L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Halle, 1927, y más recientemente por E. Zilsel, «The sociological roots of science», *The American Journal of Sociology*, XLVII, 1942. Zilsel señala el papel que desempeñaron los «artesanos cualificados» del Renacimiento en el desarrollo de la mentalidad científica moderna. Por supuesto, es verdad que los artistas, ingenieros, arquitectos, etc., del Renacimiento desempeñaron un papel importante en la lucha contra la tradición aristotélica y que algunos de ellos —como Leonardo da Vinci y Benedetti— intentaron incluso desarrollar una dinámica nueva, antiaristotélica; sin embargo, esta dinámica, como lo ha demostrado de un modo concluyente Duhem, era, en sus rasgos principales, la de los nominalistas parisienses, la dinámica del *impetus* de Juan Buridán y Nicolás de Oresme. Y si Benedetti, el más notable con mucho de estos «precursores» de Galileo, trasciende algunas veces el nivel de la dinámica «parisiense», no es en razón de su trabajo como ingeniero y artillero, sino porque estudió a Arquímedes y decidió aplicar «la filosofía matemática» a la investigación de la naturaleza.

masiado y demasiado poco. Explica el prodigioso desarrollo de la ciencia del siglo XVII por el de la tecnología. Sin embargo, este último era infinitamente menos sorprendente que el primero. Además, olvida los logros técnicos de la Edad Media. No tiene en cuenta el apetito de poder y riqueza que inspiró a la alquimia a lo largo de su historia.

Otros eruditos han insistido en la lucha de Galileo contra la autoridad, contra la tradición, en particular la de Aristóteles: contra la tradición científica y filosófica que la Iglesia mantenía y enseñaba en las Universidades. Han subrayado el papel de la observación y la experiencia en la nueva ciencia de la naturaleza[7]. Es perfectamente cierto, por supuesto, que la observación y la experimentación constituyen uno de los rasgos más característicos de la ciencia moderna. Es verdad que en los escritos de Galileo encontramos innumerables llamadas a la observación y a la experiencia, y una ironía amarga con respecto a hombres que no creían en el testimonio de sus ojos porque lo que veían era contrario a la enseñanza de las gentes de autoridad, o peor aún, que no querían (como Cremonini) mirar por el telescopio de Galileo por miedo a ver algo que hubiera contradicho las teorías y creencias tradicionales. Ahora bien, precisamente construyendo un telescopio y utilizándolo, observando cuidadosamente la Luna y los planetas, descubriendo los satélites de Júpiter, fue como Galileo asestó un golpe mortal a la astronomía y cosmología de su época.

Sin embargo, no hay que olvidar que la observación o experiencia en el sentido de la experiencia espontánea del sentido común no desempeñó un papel capital —o si lo hizo fue un papel negativo, el del obstáculo— en la fundación de la ciencia moderna[8]. La física de Aristóteles, y más aún la de los nominalistas parisienses, la de Buridán y Nicolás de Oresme, estaba mucho más próxima, según Tannery y Duhem, de la experiencia del sentido común que la de Galileo y Descartes[9]. No es la ex-

[7] Muy recientemente un crítico me ha reprochado, amigablemente, el haber olvidado este aspecto de la enseñanza de Galileo (cf. L. Olschki, «The scientific personality of Galileo», *Bulletin of the History of Medicine*, XII, 1942). No creo, tengo que confesarlo, haber merecido este reproche, aunque creo profundamente que la ciencia es esencialmente teoría, y no recolección de «hechos».

[8] E. Meyerson, *Identité et réalité*, 3.ª ed., París, 1926, p. 156, muestra, de modo muy convincente, la falta de concordancia entre «la experiencia» y los principios de la física moderna.

[9] P. Duhem, *Le système du monde*, París, 1913, I, pp. 194 ss.: :Esta dinámica, en efecto, parece adaptarse tan felizmente a las observaciones corrientes que no podía dejar de imponerse en principio a la aceptación

periencia, sino la «experimentación» lo que desempeñó —más tarde sólo— un papel positivo considerable. La experimentación consiste en interrogar metódicamente a la naturaleza; esta interrogación presupone e implica un *lenguaje* en el que formular las preguntas, así como un diccionario que nos permita leer e interpretar las respuestas. Para Galileo, como sabemos bien, es en curvas, círculos y triángulos, en lenguaje matemático e incluso, de un modo más preciso, en *lenguaje geométrico* —no el del sentido común o de los puros símbolos— como debemos hablar a la naturaleza y recibir sus respuestas. La elección del lenguaje, la decisión de emplearlo, no podían estar determinadas evidentemente por la experiencia que el uso mismo de esta lengua debía hacer posible. Tenía que venirles de otras fuentes.

Otros historiadores de la ciencia y de la filosofía [10] han intentado más modestamente caracterizar la física moderna en cuanto *física* por algunos de sus rasgos distintivos: por ejemplo, la función que en ella tiene el principio de inercia. Exacto, de nuevo: el principio de inercia ocupa un puesto eminente en la mecánica clásica por contraste con la de los antiguos. Es en ella la ley fundamental del movimiento; reina implícitamente en la física de Galileo, explícitamente en la de Descartes y Newton. Pero detenerse en esta característica me parece un poco superficial. En mi opinión, no basta establecer simplemente el hecho. Tenemos que comprenderlo y explicarlo: explicar por qué la física *moderna* fue capaz de adoptar este principio, comprender por qué y cómo el principio de inercia, que nos parece tan

de los primeros que hubieran especulado sobre las fuerzas y los movimientos... Para que los físicos lleguen a rechazar la dinámica de Aristóteles y a construir la dinámica moderna, necesitarán comprender que los hechos de los que son testigos cada día, no son, en modo alguno, los hechos simples, elementales a los que las leyes fundamentales de la dinámica se deben aplicar inmediatamente; que la marcha del navío arrastrado por los sirgadores, que la rodadura en un camino del carruaje enganchado a los caballos, deben ser considerados como movimientos de una extrema complejidad; en una palabra, que para el principio de la ciencia del movimiento, se debe, por abstracción, considerar un móvil que, bajo la acción de una fuerza única, se mueve en el vacío. Ahora bien, de su dinámica, Aristóteles llega a concluir que tal movimiento es imposible.»

[10] Kurd Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, Hamburgo-Leipzig, 1890, II, pp. 23 ss.; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8.ª ed., Leipzig, 1921, pp. 117 ss.; E. Wohlwill, «Die Entdeckung des Beharrunggesetzes», *Zeitschrift für Wölkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vols. XIV y XV, 1883 y 1884, y E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2.ª ed., Berlín, 1911, I, pp. 394 ss.

simple, tan claro, tan plausible e incluso evidente, adquiere este estatuto de evidencia y verdad *a priori*, mientras que para los griegos, así como para los pensadores de la Edad Media, la idea de que un cuerpo, una vez puesto en movimiento, continuara moviéndose siempre, parecía evidentemente falsa e incluso absurda [11].

No intentaré explicar aquí las razones y causas que provocaron la revolución espiritual del siglo XVI. Para nuestro propósito basta con describirla caracterizando la actitud mental o intelectual de la ciencia moderna a través de dos rasgos solidarios: 1.º, la destrucción del cosmos y, por consiguiente, la desaparición en la ciencia de todas las consideraciones fundadas en esta noción [12]; 2.º, la geometrización del espacio, es decir, la sustitución de la concepción de un espacio cósmico cualitativamente diferenciado y concreto, el de la física pregalileana, por el espacio homogéneo y abstracto de la geometría euclidiana. Se pueden resumir y expresar del siguiente modo estas dos características: la matematización (geometrización) de la naturaleza y, por consiguiente, la matematización (geometrización) de la ciencia.

La disolución del cosmos significa la destrucción de una idea: la de un mundo de estructura finita, jerárquicamente ordenado, un mundo cualitativamente diferenciado desde el punto de vista ontológico; esta idea es sustituida por la de un universo abierto, indefinido e incluso infinito, que las mismas leyes universales unifican y gobiernan; un universo en el que todas las cosas pertenecen al mismo nivel del ser, al contrario que la concepción tradicional que distinguía y oponía los dos mundos del Cielo y la Tierra. Las leyes del Cielo y las de la Tierra estarán fundidas en lo sucesivo. La astronomía y la física se hacen interdependientes e incluso unificadas y unidas [13]. Esto implica que desaparecen de la perspectiva científica todas las consideraciones fundadas en el valor, la perfección, la armonía,

[11] Cf. E. Meyerson, *op. cit.*, pp. 124 ss.

[12] El *término* permanece, por supuesto, y Newton habla siempre del cosmos y de su orden (como habla del *impetus*), pero en un sentido completamente nuevo.

[13] Como he intentado demostrar en otra parte (*Études galiléennes*, III, *Galilée et la loi d'inertie*, París, 1940) la ciencia moderna resulta de esta unificación de la astronomía y de la física que le permite aplicar los métodos de la investigación matemática, utilizados hasta entonces para el estudio de los fenómenos celestes, al estudio de los fenómenos del mundo sublunar.

la significación y el designio [14]. Desaparecen en el espacio infinito del nuevo universo. En este nuevo universo, en este nuevo mundo de geometría hecha real, es donde las leyes de la física clásica encuentran valor y aplicación.

La disolución del cosmos, repito, me parece la revolución más profunda realizada o padecida por el espíritu humano desde la invención del cosmos por los griegos. Es una revolución tan profunda, de consecuencias tan lejanas, que, durante siglos, los hombres —con raras excepciones como Pascal— no captaron su alcance y sentido; aun hoy es a menudo subestimada y mal comprendida.

Lo que los fundadores de la ciencia moderna, y entre ellos Galileo, debían, pues, hacer, no era criticar y combatir ciertas teorías erróneas, para corregirlas o sustituirlas por otras mejores. Debían hacer algo distinto. Debían destruir un mundo y sustituirlo por otro. Debían reformar la estructura de nuestra propia inteligencia, formular de nuevo y revisar sus conceptos, considerar el ser de un modo nuevo, elaborar un nuevo concepto del conocimiento, un nuevo concepto de la ciencia e incluso sustituir un punto de vista bastante natural, el del sentido común, por otro que no lo es en absoluto [15].

Esto explica por qué el descubrimiento de cosas, de leyes, que hoy parecen tan simples y fáciles que se les enseñan a los niños —leyes del movimiento, ley de la caída de los cuerpos— exigió un esfuerzo tan enorme, tan arduo, a menudo vano, de algunos de los mayores genios de la humanidad, un Galileo, un Descartes [16]. Este hecho, a su vez, me parece refutar los intentos modernos de minimizar, e incluso de negar, la originalidad del pensamiento de Galileo, o por lo menos su carácter revolucionario; demuestra también que la aparente continuidad en el des-

[14] Cf. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. II, fasc. I, París, 1929, p. 95: «Descartes libera a la física de la obsesión del cosmos helénico, es decir, de la imagen de un cierto estado privilegiado de cosas que satisfacía nuestras necesidades estéticas... No hay estados privilegiados puesto que todos los estados son equivalentes. Así pues, no hay ningún lugar en la física para la búsqueda de causas finales y la consideración de lo mejor.»

[15] Cf. P. Tannery, «Galilée et les principes de la dynamique», *Mémoires scientifiques*, VI, París, 1926, p. 399: «Si para juzgar el sistema dinámico de Aristóteles, hacemos abstracción de los prejuicios que derivan de nuestra educación moderna, si intentamos volvernos a situar en el estado de ánimo que podría tener un pensador independiente al principio del siglo XVII, es difícil desconocer que este sistema está mucho más conforme que el nuestro con la observación inmediata de los hechos.»

[16] Cf. mis *Études galiléennes*, II, *La loi de la chute des corps*, París, 1940.

arrollo de la física entre la Edad Media y la Moderna (continuidad que Caverni y Duhem han subrayado tan enérgicamente), es ilusoria [17]. Es verdad, por supuesto, que una tradición ininterrumpida lleva de las obras de los nominalistas parisienses a las de Benedetti, Bruno, Galileo y Descartes. (Yo mismo he añadido un eslabón a la historia de esta tradición [18].) Sin embargo, la conclusión que saca Duhem es engañosa: una revolución bien preparada continúa siendo, sin embargo, una revolución, y a pesar de que el mismo Galileo en su juventud (como Descartes a veces) compartió las opiniones y enseñó las teorías de los críticos medievales de Aristóteles, la ciencia moderna, la ciencia nacida de sus esfuerzos y de sus descubrimientos, *no sigue* la inspiración de los «precursores parisienses de Galileo»; se coloca inmediatamente en un nivel completamente diferente, un nivel que a mí me gustaría llamar arquimediano. El verdadero precursor de la física moderna no es ni Buridán, ni Nicolás de Oresme, ni siquiera Juan Filopón, sino Arquímedes [19].

I

Se puede dividir en dos períodos la historia del pensamiento científico de la Edad Media y del Renacimiento, que empezamos

[17] Cf. Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 vols., Florencia, 1891-1896, en particular los volúmenes IV y V. P. Duhem, *Le mouvement absolu et le mouvement relatif*, París, 1905; «De l'accélération produite par une force constante», *Congrès International de l'Histoire des Sciences*, sesión III, Ginebra, 1906; *Études sur Léonard de Vinci: Ceux quil a lus et ceux qui l'ont lu*, 3 vols., París, 1909-1913, en particular el vol. III, *Les précurseurs parisiens de Galilée*. Muy recientemente la tesis de la continuidad ha sido sostenida por J. H. Randall, Jr., en su brillante artículo «Scientific method in the school of Padua», *Journal of the History of Ideas*, I, 1940; Randall demuestra de modo convincente la elaboración progresiva del método de «resolución y composición» en la enseñanza de los grandes lógicos del Renacimiento. Sin embargo, el propio Randall declara que «un elemento faltó en el método formulado por Zabarella: no exigió que los principios de la ciencia natural fueran matemáticos» (p. 204), y que el *Tractatus de paedia* de Cremonini «resonó como una advertencia solemne a los matemáticos triunfantes de la gran tradición aristotélica de empirismo racional» (*ibid.*). Ahora bien, «esta insistencia en el papel de las matemáticas que se añadió a la metodología lógica de Zabarella» (p. 205), constituye precisamente, en mi opinión, el contenido de la revolución científica del siglo XVII, y, en la opinión de la época, la línea divisoria entre los partidarios de Platón y los de Aristóteles.

[18] *Études galiléennes*, I, *A l'aube de la sciencie classique*, París, 1940.

[19] El siglo XVI, por lo menos en su segunda mitad, fue el período en que se recibió, estudió y comprendió poco a poco a Arquímedes.

a conocer un poco mejor[20]. O más bien, como el orden cronológico no corresponde sino muy toscamente a esta división, podríamos distinguir *grosso modo* en la historia del pensamiento científico tres etapas o épocas, que corresponden a su vez a tres tipos diferentes de pensamiento: primero, la física aristotélica; a continuación, la física del *impetus*, salida, como todo el resto, del pensamiento griego y elaborada en el curso del siglo XIV por los nominalistas parisienses; finalmente, la física moderna, matemática, del tipo de Arquímedes o Galileo.

Estas etapas las encontramos en las obras del joven Galileo: no sólo nos informan acerca de la historia —o la prehistoria— de su pensamiento, acerca de los móviles y motivos que le han dominado e inspirado, sino que al mismo tiempo nos ofrecen, condensado y, por así decir, clarificado por la admirable inteligencia de su autor, un cuadro sorprendente y profundamente instructivo de toda la historia de la física pregalileana. Tracemos de nuevo brevemente esta historia comenzando por la física de Aristóteles.

La física de Aristóteles es falsa, por supuesto, y completamente caduca. Sin embargo, es una «física», es decir, una ciencia altamente elaborada, aunque no matemáticamente[21]. No es algo imaginario y pueril, ni un tosco enunciado logomáquico de sentido común, sino una teoría, es decir, una doctrina que, partiendo naturalmente de datos del sentido común, los somete a un tratamiento extremadamente coherente y sistemático[22].

Los hechos o datos que sirven de fundamento a esta elaboración teórica son muy simples y en la práctica los admitimos exactamente como lo hacía Aristóteles. Todos encontramos siempre «natural» ver un cuerpo pesado caer «hacia abajo». Exactamente como Aristóteles o Santo Tomás, nos habríamos asombrado profundamente al ver un grave —piedra o toro— elevarse libremente por el aire. Esto nos parecería bastante

[20] Debemos este conocimiento principalmente a los trabajos de P. Duhem (a las obras citadas anterioremente (n. 17) hay que añadir *Les origines de la statique*, 2 vols., París, 1905, y *Le système du monde*, 5 vols., París, 1913-1917) y a los de Lynn Thorndike, cf. su monumental *History of magic and experimental science*, 6 vols., Nueva York, 1923-1941. Cf. igualmente F. J. Dijksterhuis, *Wal en Worp*, Groninga, 1924.

[21] La física aristotélica es, por esencia, no matemática. Presentarla, como lo hace Duhem (*De l'accélération produite par une force constante*, p. 859), como fundada simplemente en otra fórmula matemática distinta a la nuestra, es un error.

[22] A menudo, el historiador moderno del pensamiento científico no aprecia suficientemente el carácter sistemático de la física aristotélica.

«contra natura» y trataríamos de explicarlo por algún mecanismo oculto.

Del mismo modo, encontramos siempre «natural» ver la llama de una cerilla dirigirse hacia «arriba» y colocar nuestras cacerolas «sobre» el fuego. Nos sorprenderíamos y buscaríamos una explicación si viéramos, por ejemplo, volverse la llama y apuntar hacia «abajo». ¿Calificaríamos esta concepción o, mejor, esta actitud de pueril y simplista? Quizá. Podemos incluso señalar que, según el mismo Aristóteles, la ciencia comienza precisamente cuando se intenta explicar cosas que parecían naturales. Sin embargo, cuando la termodinámica anuncia como principio que el «calor» pasa de un cuerpo caliente a uno frío, pero no de un cuerpo frío a uno caliente, ¿no traduce simplemente la intuición del sentido común de que un cuerpo «caliente» se vuelve «naturalmente» frío, pero que un cuerpo frío no se vuelve «naturalmente» caliente? E incluso cuando declaramos que el centro de gravedad de un sistema tiende a tomar la posición más baja, y no se eleva por sí solo, ¿no traducimos simplemente una intuición del sentido común, la misma que expresa la física aristotélica al distinguir el movimiento «natural» del movimiento «violento»? [23].

Además, ni la física aristotélica ni la termodinámica se contentan con expresar simplemente en su lenguaje el «hecho» de sentido común que acabamos de mencionar; lo transponen; la distinción entre movimientos «naturales» y movimientos «violentos» se sitúa en una concepción de conjunto de la realidad física, concepción cuyos principales rasgos parecen ser: *a)* la creencia en la existencia de «naturalezas» cualitativamente definidas, y *b)* la creencia en la existencia de un cosmos, en suma, la creencia en la existencia de principios de orden en virtud de los cuales el conjunto de los seres reales forma un todo jerárquicamente ordenado.

Todo, orden cósmico, armonía: estos conceptos implican que en el universo las cosas están (o deben estar) distribuidas y dispuestas en un cierto orden determinado, que su localización no es indiferente ni para ellas ni para el universo; que, al contrario, cada cosa tiene, según su naturaleza, un «puesto» determinado en el universo, el suyo propio [24]. Un lugar para cada cosa

[23] Cf. E. Mach, *Die Mechanik*, pp. 124 ss.

[24] Es sólo en «su» lugar donde un ser alcanza su realización y llega a ser verdaderamente él mismo. Y esa es la razón por la que tiende a ocupar este lugar.

y cada cosa en su lugar: el concepto de «lugar natural» expresa esta exigencia teórica de la física aristotélica.

La concepción de «lugar natural» está fundada en una concepción puramente estática del orden. En efecto, si cada cosa estuviera «en orden», cada cosa estaría en su lugar natural, y, por supuesto, allí se quedaría y permanecería para siempre. ¿Por qué habría de abandonarlo? Al contrario, ofrecería una resistencia a todo esfuerzo por echarlo fuera de él. No se la podría expulsar de allí más que ejerciendo una especie de *violencia* y si debido a tal *violencia* el cuerpo se encontrara fuera de «su» lugar, buscaría el modo de volver a éste.

Así, todo movimiento implica una especie de desorden cósmico, una perturbación en el equilibrio del universo, pues es o bien un efecto directo de la *violencia*, o bien, al contrario, un efecto del esfuerzo del ser por compensar esta *violencia*, por recobrar su orden y su equilibrio perdidos y turbados, por llevar de nuevo las cosas a sus lugares naturales, lugares donde deben reposar y permanecer. Es esta vuelta al orden lo que constituye precisamente lo que hemos llamado movimiento «natural»[25].

Turbar el equilibrio, volver al orden: está perfectamente claro que el orden constituye un estado sólido y duradero que tiende a perpetuarse él mismo indefinidamente. No hay, pues, necesidad de explicar el estado de reposo, o por lo menos el estado de un cuerpo en reposo en su lugar natural, propio; es su propia naturaleza la que lo explica, la que explica, por ejemplo, que la Tierra esté en reposo en el centro del mundo. Igualmente, es evidente que el movimiento es necesariamente un estado transitorio: un movimiento natural se termina naturalmente cuando alcanza su objetivo. En cuanto al movimiento violento, Aristóteles es demasiado optimista para admitir que este estado anormal pudiera durar; además, el movimiento violento es un desorden que engendra desorden y admitir que pudiera durar indefinidamente, significaría realmente que se abandona la idea misma de un cosmos bien ordenado. Aristóteles mantiene, pues, la creencia tranquilizadora de que nada de lo que es *contra naturam possit esse perpetuum*[26].

De este modo, como acabamos de decir, el movimiento en la física aristotélica es un estado esencialmente transitorio. Sin embargo, tomado al pie de la letra este enunciado sería in-

[25] Las concepciones de «lugares naturales» y de «movimientos naturales» implican la de un universo finito.

[26] Aristóteles, *Física*, VIII, 8, 215 b.

correcto e incluso doblemente incorrecto. El hecho es que el movimiento, aunque sea para *cada uno de los cuerpos movidos,* o por lo menos para los del mundo sublunar, para los objetos móviles de nuestra experiencia, un estado necesariamente transitorio y efímero, es, sin embargo, para el conjunto del mundo un fenómeno necesariamente eterno y, por consiguiente, eternamente necesario [27], un fenómeno que no podemos explicar sin descubrir su origen y su causa tanto en la estructura física como en la estructura metafísica del cosmos. Tal análisis mostraría que la estructura ontológica del ser material le impide alcanzar el estado de perfección que implica la noción de reposo absoluto y nos permitiría ver la causa física última de los movimientos temporales, efímeros y variables de los cuerpos sublunares en el movimiento continuo, uniforme y perpetuo de las esferas celestes [28]. Por otro lado, el movimiento no es, hablando con propiedad, un *estado;* es un proceso, un flujo, un *devenir* en y por el que las cosas se constituyen, se actualizan y se realizan [29]. Es perfectamente cierto que el ser es el término del devenir y el reposo la meta del movimiento. Sin embargo, el reposo inmutable de un ser plenamente actualizado es algo completamente diferente de la inmovilidad pesada e impotente de un ser incapaz de moverse por sí mismo; el primero es algo positivo, «perfección y *actus*»; la segunda no es más que una «privación». Por consiguiente, el movimiento —*procesus,* devenir, cambio— se encuentra colocado entre los dos desde el punto de vista ontológico. Es el ser de todo lo que cambia, de todo aquello cuyo ser es alteración y modificación y que no *existe* más que cambiando y modificándose. La célebre definición aristotélica del movimiento —*actus entis in potentia in quantum est in potentia*— que Descartes encontrará perfectamente ininteligible expresa admirablemente el hecho: el movimiento es el ser —o el *actus*— de todo lo que no es Dios.

De modo que moverse es cambiar, *aliter et aliter se habere,* cambiar en sí y con relación a los otros. Esto implica, por un lado, un término de referencia con relación al cual la cosa movida cambia su ser o su relación; lo que supone —si examina-

[27] El movimiento no puede resultar más que de un movimiento anterior. Por consiguiente, todo movimiento efectivo implica una serie infinita de movimientos precedentes.

[28] En un universo finito, el único movimiento uniforme que puede persistir indefinidamente es un movimiento circular.

[29] Cf. Kurt Riezler, *Physics and reality,* New Haven, 1940.

mos el movimiento local[30]— la existencia de un punto fijo con relación al cual lo movido se mueve, un punto fijo inmutable; el cual, evidentemente, no puede ser más que el centro del universo. Por otro lado, el hecho de que cada cambio, cada proceso, necesite para explicarse una causa, implica que cada movimiento tiene necesidad de un motor para producirlo, motor que le mantiene en movimiento tanto tiempo como éste dura. El movimiento, en efecto, no se mantiene como el reposo. El reposo— estado de privación— no necesita la acción de una causa cualquiera para explicar su persistencia. El movimiento, el cambio, cualquier proceso de actualización o debilitación e incluso de actualización o debilitación continua, no puede abstenerse de tal acción. Quitad la causa, el movimiento se detendrá. *Cessante causa cessat effectus*[31].

En el caso del movimiento «natural», esta causa, este motor es la naturaleza misma del cuerpo, su «forma» que trata de volver a traerlo a su puesto y mantiene así el movimiento. *Viceversa,* el movimiento que es *contra naturam* exige, sin embargo, durante toda su duración la acción *continua* de un motor externo unido al cuerpo movido. Quitad el motor, el movimiento se detendrá. Separadlo del cuerpo movido, el movimiento se detendrá también. Aristóteles, como sabemos bien, no admite la acción a distancia[32]; cada transmisión de movimiento implica según él un contacto. Sólo hay, pues, dos tipos de tal transmisión: la presión y la tracción. Para hacer mover un cuerpo, hay que empujarlo o tirar de él. No hay otros medios.

La física aristotélica forma así una admirable teoría perfectamente coherente que, a decir verdad, sólo presenta un defecto (aparte del de ser falsa): el defecto de ser desmentida por el uso cotidiano del lanzamiento. Pero un teórico que merezca este nombre no se deja turbar por una objeción sacada del sentido común. Si encuentra un «hecho» que no cuadra con su teoría, niega su existencia. Si no puede negarla, la explica. En la explicación de este hecho cotidiano, el del lanzamiento, movimiento que continúa a pesar de la ausencia de «un motor»,

[30] El movimiento local —desplazamiento— no es más que una clase, aunque particularmente importante, de «movimiento» *(kinesis),* movimiento en el ámbito del espacio, por constraste con la alteración, movimiento en el terreno de la cualidad, y la generación y la corrupción, movimiento en el ámbito del ser.

[31] Aristóteles tiene toda la razón. Ningún proceso de cambio o de devenir puede prescindir de la causa. Si el movimiento en la física moderna persiste por sí mismo, es porque ya no es más que un proceso.

[32] El cuerpo *tiende* a su lugar natural, pero no es *atraído* por él.

hecho aparentemente incompatible con su teoría, es donde Aristóteles nos da la medida de su genio. Su respuesta consiste en explicar el movimiento aparentemente sin motor del proyectil por la reacción del medio ambiente, aire o agua[33]. La teoría es una genialidad. Desgraciadamente (además de que es falsa), es absolutamente imposible desde el punto de vista del sentido común. No es, pues, asombroso que la crítica de la dinámica aristotélica vuelva siempre a la misma *quaestio disputata: ¿a quo moveantur proiecta?*

II

Volveremos dentro de un momento a esta *quaestio*, pero tenemos que examinar primero otro detalle de la dinámica aristotélica: la negación de todo vacío y del movimiento en un vacío. En esta dinámica, efectivamente, un vacío no permite que el movimiento se produzca más fácilmente; al contrario, lo hace completamente imposible: esto por razones muy profundas.

Hemos dicho ya que en la dinámica aristotélica cada cuerpo es concebido como dotado de una tendencia a encontrarse en su lugar natural y a volver a éste si ha sido separado de él con violencia. Esta tendencia explica el movimiento natural de un cuerpo: movimiento que le lleva a su lugar natural por el camino más corto y más rápido. Se deduce que todo movimiento natural procede en línea recta y que cada cuerpo camina hacia su lugar natural tan deprisa como le es posible; es decir, tan deprisa como su medio, que se resiste a su movimiento y se le opone, le permite hacerlo. Así, pues, si no hubiera nada que lo detuviera, si el medio ambiente no opusiera ninguna resistencia al movimiento que le atraviesa (tal sería el caso en un vacío), el cuerpo caminaría hacia «su» puesto con una velocidad infinita[34]. Pero tal movimiento sería instantáneo, lo que —con toda razón— parece absolutamente imposible a Aristóteles. La conclusión es evidente: un movimiento (natural) no puede producirse en el vacío. En cuanto al movimiento violento el del lanzamiento, por ejemplo, un movimiento en el vacío equivaldría a un movimiento sin motor; es evidente que el vacío no es un medio físico y no puede recibir, transmitir y mantener un movimiento. Además, en el vacío (como en el espacio de la geome-

[33] Cf. Aristóteles, *Física*, IV, 8, 215 a.; VIII, 10, 267 a.; *De coelo*, III, 2, 301 b. E. Meyerson, *Identité et réalité*, p. 84.

[34] Cf. Aristóteles, *Física*, VII, 5, 249 b., 250 a.; *De coelo*, III, 2, 301 e.

tría euclidiana) no hay lugares o direcciones privilegiados. En el vacío no hay, ni puede haber, lugares «naturales». Por consiguiente, un cuerpo colocado en el vacío no sabría donde ir, no tendría ninguna razón para dirigirse a una dirección mejor que a otra, y, por tanto, ninguna razón para moverse. Viceversa, una vez puesto en movimiento, no tendría más razón para detenerse aquí que allí ni, por tanto, razón alguna para detenerse[35]. Las dos hipótesis son completamente absurdas.

Aristóteles, una vez más, tiene toda la razón. Un espacio vacío (el de la geometría) destruye enteramente la concepción de un orden cósmico: en un espacio vacío, no sólo no existen lugares naturales[36], sino que no hay en absoluto *lugares*. La idea de un vacío no es compatible con la comprensión del movimiento como cambio y como proceso; quizá ni siquiera con la del movimiento concreto de cuerpos concretos «reales», perceptibles: quiero decir, los cuerpos de nuestra experiencia cotidiana. El vacío es una *sinrazón*[37]; colocar las cosas en una tal *sinrazón* es absurdo[38]. Sólo los cuerpos geométricos pueden ser «colocados» en un espacio geométrico.

El físico examina cosas reales; el geómetra, razones a propósito de abstracciones. Por consiguiente, sostiene Aristóteles, nada podría ser más peligroso que mezclar geometría y física y aplicar un método y un razonamiento puramente geométricos al estudio de la realidad física.

III

Ya he señalado que la dinámica aristotélica, a pesar —o quizá a causa— de su perfección teórica, presentaba un grave inconveniente; el de ser absolutamente no plausible, completamente increíble e inaceptable para el buen sentido común, y estar evidentemente en contradicción con la experiencia cotidiana más común. No es nada asombroso, pues, que no haya gozado nunca de un reconocimiento universal y que los críticos y adversarios de la dinámica de Aristóteles le hayan opuesto siempre la observación, de sentido común, de que un movimiento prosigue separado de su motor originario. Los ejemplos clásicos de tal movimiento, rotación persistente de la rueda, vuelo

[35] Cf. Aristóteles, *Física*, IV, 8, 214 b.; 215 b.

[36] Si se prefiere, se puede decir que en un vacío todos los lugares son los lugares naturales de toda clase de cuerpos.

[37] Kant llamaba al espacio vacío un *Unding*.

[38] Tal era, como sabemos, la opinión de Descartes y de Spinoza.

de una flecha, lanzamiento de una piedra, fueron siempre invocados en contra suya, desde Hiparco y Juan Filopón, pasando por Juan Buridán y Nicolás de Oresme, hasta Leonardo da Vinci, Benedetti y Galileo[39].

No tengo la intención de analizar aquí los argumentos tradicionales que desde Juan Filopón[40] han sido repetidos por los partidarios de su dinámica. Se pueden clasificar *grosso modo* en dos grupos: *a)* los primeros argumentos son de orden material y subrayan lo improbable que es la suposición según la cual un cuerpo grueso y pesado, pelota, muela que gira, flecha que vuela contra el viento, pueda ser movido por la reacción del aire; *b)* los otros son de orden formal y señalan el carácter contradictorio de la atribución al aire de un doble papel, el de resistencia y el de motor, así como el carácter ilusorio de toda la teoría: ésta no hace más que desplazar el problema del cuerpo al aire y se encuentra por eso obligada a atribuir al aire lo que niega a otros cuerpos, la capacidad de mantener un movimiento separado de su causa externa. Si es así, nos preguntamos por qué no suponer que el motor transmite al cuerpo movido, o le imprime, algo que le hace capaz de moverse —algo llamado *dynamis, virtus motiva, virtus impressa, impetus, impetus impressus,* algunas veces *forza* o incluso *motio,* y que se representa siempre como una especie de potencia o de fuerza, que pasa del motor al *móvil* y continúa entonces el movimiento, o mejor dicho, produce el movimiento como su causa.

[39] Para la historia de la crítica medieval de Aristóteles, cf. las obras citadas anteriormente (p. 156, n. 17) y B. Jansen, Olivi, «Der älteste scholastische Vertreter des heutigen Bewegungsbegriffes», *Philosophisches Jahrbuch* (1920); K. Michalsky, «La physique nouvelle et les différents courants philosophiques au XIVe siècle», *Bulletin International de l'Académie polonaise des sciences et des Lettres,* Cracovia, 1927; S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Occam* (Insbruck, 1932); E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Münster, 1934); R. Marcolongo, «La meccanica di Leonardo da Vinci», *Atti della reale accademia delle scienze fisiche e matematiche,* XIX (Nápoles, 1933).

[40] Sobre Juan Filopón, que parece ser el verdadero inventor de la teoría del *impetus,* cf. E. Wohlwill, «Ein vorgänger Galileis im VI Jahrhundert», *Physicalische Zeitschrift,* VII (1906), y P. Duhem, *Le système du monde,* I; la *Física* de Juan Filopón, al no haber sido traducida al latín, permaneció inaccesible para los escolásticos que no tenían a su disposición más que el breve resumen dado por Simplicio. Pero fue muy conocida por los árabes y la tradición árabe parece haber influido, directamente, y por la traducción de Avicena, en la escuela «parisiense» hasta un punto insospechado hasta ahora. Cf. el importantísimo artículo de S. Pines «Études sur Awhad al-Zamān Abū'l Barakāt al-Baghdāhi», *Revue des Études juives* (1938).

Es evidente, como el mismo Duhem lo ha reconocido, que hemos vuelto al sentido común. Los partidarios de la física del *impetus* piensan en términos de experiencia cotidiana. ¿No es cierto que necesitamos hacer un *esfuerzo*, desplegar y gastar fuerza para mover un cuerpo, por ejemplo, para empujar una carretilla, lanzar una piedra o tensar un arco? ¿No está claro que es esta fuerza la que mueve el cuerpo, o más bien lo hace moverse, que es la fuerza que el cuerpo recibe del motor la que le hace capaz de superar una resistencia (como la del aire) y salvar los obstáculos?

Los partidarios medievales de la dinámica del *impetus* discuten largamente y sin éxito sobre el estatuto ontológico del *impetus*. Intentan hacerlo entrar en la clasificación aristotélica, interpretarlo como una especie de *forma* o *habitus*, o como una especie de cualidad como el calor (Hiparco y Galileo). Estas discusiones demuestran sólo la naturaleza confusa, imaginativa de la teoría que es directamente un producto o, si se puede decir, un condensado de sentido común.

Como tal, concuerda más aún que el punto de vista aristotélico con los «hechos» —reales o imaginarios— que constituyen el fundamento experimental de la dinámica medieval; en particular con el «hecho» conocidísimo de que todo proyectil comienza por acrecentar su velocidad y adquiere el máximo de rapidez algún tiempo después de haberse separado del motor[41]. Todo el mundo sabe que para saltar un obstáculo,

[41] Es interesante notar que esta absurda creencia que Aristóteles compartió y enseñó (*De coelo*, II, 6) estaba tan profundamente arraigada y era tan universalmente aceptada, que el propio Descartes no se atrevió a negarla abiertamente, y, como hizo a menudo, prefirió explicarla. En 1630, escribe a Mersenne (A.-T., I, p. 110): «Me gustaría también saber si no habéis experimentado si una piedra lanzada con una honda, o la bala de un mosquete, o un tiro de ballesta, van más deprisa y tienen más fuerza en la mitad de su movimiento que al principio, y si tienen más efecto. Pues ésa es la creencia del vulgo, con la que sin embargo no están de acuerdo mis razones; y yo encuentro que las cosas que son empujadas y que no se mueven por sí mismas, deben tener más fuerza al principio que la que después tienen.» En 1632 (A.-T., I, p. 259) y una vez más en 1640 (A.-T., II, pp. 37 ss.) explica a su amigo lo que es cierto en esta creencia: «*In motu proiectorum*, no creo en absoluto que el proyectil vaya nunca menos deprisa al principio que al final, contando desde el primer momento en que deja de ser empujado por la mano o la máquina; pero creo que un mosquete que sólo esté alejado un pie y medio de una muralla no tendrá tanto efecto como si estuviese alejado quince o veinte pasos, ya que la bala al salir del mosquete no puede expulsar el aire que está entre ella y esta muralla tan fácilmente y así debe ir menos deprisa que si esta muralla estuviera menos cerca. Sin embargo, es el experimento el que debe determinar si esta diferencia

hay que «tomar impulso»; que una carretilla que se empuja o de la que se tira se pone en marcha lentamente y gana velocidad poco a poco; ella también toma impulso y adquiere su fuerza; del mismo modo que todo el mundo —incluso un niño que lanza una pelota— sabe que para alcanzar con fuerza la meta, hay que colocarse a cierta distancia, no demasiado cerca, a fin de dejar que la pelota tome velocidad. La física del *impetus* no tiene dificultad en explicar este fenómeno; desde su punto de vista, es perfectamente natural que el *impetus* necesite cierto tiempo para «adueñarse» del *móvil*, exactamente como el calor, por ejemplo, necesita tiempo para expandirse en un cuerpo.

La concepción del movimiento subyacente en la física del *impetus* es completamente diferente de la de la teoría aristotélica. El movimiento no se interpreta ya como un proceso de actualización. Sin embargo, siempre es un cambio, y como tal hay que explicarlo por la acción de una fuerza o una causa determinada. El *impetus* es precisamente esta causa inmanente que produce el movimiento, que es *converso modo* el efecto producido por ella. Así, el *impetus impressus* produce el movimiento; *mueve* el cuerpo. Pero al mismo tiempo desempeña otro papel muy importante: vence la resistencia que el medio opone al movimiento.

Dado el carácter confuso y ambiguo de la concepción del *impetus*, es bastante natural que sus dos aspectos y funciones deban fundirse y que algunos partidarios de la dinámica del *impetus* deban llegar a la conclusión de que, por lo menos en ciertos casos particulares, tales como el movimiento circular de las esferas celestes, o más generalmente, la rodadura de un cuerpo circular en una superficie plana, o más generalmente todavía, en todos los casos en que no hay resistencia externa al movimiento, como en un *vacuum*, el *impetus* no se debilita, sino que sigue siendo «inmortal». Esta consideración parece

es sensible y dudo mucho de todos los que no he hecho yo mismo.» Al contrario, el amigo de Descartes, Beeckman, niega de un modo perentorio la posibilidad de una aceleración del proyectil y escribe (*Beeckman à Mersenne*, 30 de abril de 1630, cf. *Correspondance du P. Mersenne*, París, 1936, II, p. 457): «Funditores vero ac pueri omnes qui existimant remotiora fortius ferire quam eadem propinquiora, certo certius falluntur.» Admite, sin embargo, que debe haber algo de verdad en esta creencia e intenta explicarla: «Non dixeram plenitudem nimiam aeris impedire effectum tormentorii globi, sed pulverem pyrium extra bombardam iam existentem forsitan adhuc rarefieri, ideoque fieri posse ut globus tormentarius extra bombardam nova vi (simili tandem) propulsus velocitate aliquamdiu cresceret.»

bastante próxima a la ley de la inercia y es particularmente interesante e importante notar que el propio Galileo, que en su *De motu* nos da una de las mejores exposiciones de la dinámica del *impetus*, niega resueltamente la validez de tal suposición y afirma con todo vigor la naturaleza esencialmente perecedera del *impetus*.

Evidentemente, Galileo tiene toda la razón. Si entendemos el movimiento como un efecto del *impetus* considerado como su causa —una causa inmanente, pero no interna al modo de una «naturaleza»— es impensable y absurdo no admitir que la causa o fuerza que lo produce debe gastarse necesariamente, y al final agotarse en esta producción. No puede permanecer sin cambio durante dos momentos consecutivos, y, por consiguiente, el movimiento que produce debe necesariamente aminorarse y apagarse [42]. Así, el joven Galileo nos da una lección muy importante. Nos enseña que la física del *impetus*, aunque compatible con el movimiento en un *vacuum*, es como la de Aristóteles *incompatible* con el principio de inercia. No es la única lección que Galileo nos enseña con respecto a la física del *impetus*. La segunda es por lo menos tan valiosa como la primera. Demuestra que, como la de Aristóteles, la dinámica del *impetus* es incompatible con un método matemático. No conduce a ninguna parte: es un camino sin salida.

La física del *impetus* progresó muy poco durante los mil años que separan a Juan Filopón de Benedetti. Pero en los trabajos de este último, y de modo más claro, más coherente y más consciente en los del joven Galileo, encontramos un resuelto esfuerzo por aplicar a esta física los principios de la «filosofía matemática» [43], bajo la influencia evidente, innegable, del «sobrehumano Arquímedes» [44].

Nada es más instructivo que el estudio de este ensayo —o más exactamente, de estos ensayos— y de su fracaso. Nos demuestran que es imposible matematizar, es decir, transformar en concepto exacto, matemático, la grosera, vaga y confusa teoría del *impetus*. Hubo que abandonar esta concepción a fin de edificar una física matemática en la perspectiva de la estática de Arquímedes [45]. Hubo que formar y desarrollar un con-

[42] Cf. Galileo Galilei, *De motu, Opere*, Ed. Naz., I, pp. 314 ss.

[43] J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurini, 1585, p. 168.

[44] Galileo Galilei, *De motu*, p. 300.

[45] La persistencia de la terminología —la palabra *impetus* es empleada por Galileo y sus alumnos e incluso por Newton— no debe impedirnos constatar la desaparición de la idea.

cepto nuevo y original del movimiento. Este nuevo concepto es el que debemos a Galileo.

IV

Conocemos tan bien los principios y conceptos de la mecánica moderna o, mejor dicho, estamos tan acostumbrados a ellos, que nos es casi imposible ver las dificultades que hubo que superar para establecerlos. Estos principios nos parecen tan simples, tan naturales, que no notamos las paradojas que implican. Sin embargo, el simple hecho de que los espíritus más grandes y más poderosos de la humanidad —Galileo, Descartes— debieran luchar para hacerlos suyos, basta para demostrar que estas nociones claras y simples —la noción de movimiento o la de espacio— no son tan claras y simples como lo parecen. O bien son claras y simples sólo desde un cierto punto de vista, únicamente como parte de un cierto conjunto de conceptos y axiomas, sin el cual ya no son en modo alguno simples. O bien, quizá son demasiado claras y demasiado simples: tan claras y tan simples que, como todas las nociones primeras, son muy difíciles de captar.

El movimiento, el espacio: intentemos olvidar por el momento todo lo que hemos aprendido en la escuela; intentemos imaginarnos lo que significan en mecánica. Intentemos colocarnos en la situación de un contemporáneo de Galileo, de un hombre acostumbrado a los conceptos de la física aristotélica que ha aprendido en *su* escuela, y que, por primera vez, encuentra el concepto moderno de movimiento. ¿Qué es? Realmente, algo bastante raro. Algo que no afecta de ninguna manera al cuerpo que está provisto de él: estar en movimiento o estar en reposo no representa diferencia para el cuerpo en movimiento o en reposo; no le aporta ningún cambio. El cuerpo, en cuanto tal, es totalmente indiferente a uno y a otro [46]. Por consiguiente, no podemos atribuir el movimiento a un cuerpo determinado considerado en sí mismo. Un cuerpo no está en movimiento más que en relación con algún otro cuerpo al que suponemos en reposo. Todo movimiento es relativo. Así, pues, podemos atribuirlo a uno u otro de los dos cuerpos, *ad libitum* [47].

[46] En la física aristotélica, el movimiento es un proceso de cambio y afecta siempre al cuerpo en movimiento.

[47] Un cuerpo dado puede, por consiguiente, estar dotado de un número indeterminado de movimientos diferentes que no se interfieren los

De este modo, el movimiento parece ser una relación. Pero es al mismo tiempo un *estado;* igual que es otro *estado* el reposo, entera y absolutamente opuesto al primero; además, uno y otro son *estados persistentes*[48]. La célebre primera ley del movimiento, la ley de la inercia, nos enseña que un cuerpo abandonado a sí mismo persiste eternamente en su estado de movimiento o reposo, y que debemos aplicar una fuerza para transformar un estado de movimiento en estado de *reposo,* y viceversa[49]. Sin embargo, la eternidad no pertenece a toda clase de movimiento, sino únicamente al movimiento uniforme en línea recta. La física moderna afirma, como todos sabemos, que una vez puesto en movimiento un cuerpo, conserva eternamente su dirección y velocidad, a condición, por supuesto, de que no sufra la acción de alguna fuerza externa[50]. Además, al aristotélico, que objeta que aunque conoce, es un hecho, el movimiento eterno, el eterno movimiento circular de las esferas celestes, no ha encontrado nunca, sin embargo, un movimiento rectilíneo persistente, la física moderna le contesta: ¡por supuesto! un movimiento rectilíneo uniforme es absolutamente imposible y no puede producirse más que en el vacío.

Reflexionemos sobre esto, y quizá no seremos demasiado duros para el aristotélico que se sentía incapaz de captar y aceptar esta noción inaudita, la de una relación-estado persistente, sustancial, concepto de algo que a él le parecía tan abstruso y tan imposible como nos parecen a nosotros las poco afortunadas formas sustanciales de los escolásticos. No es de extrañar que el aristotélico se haya sentido asombrado y perdido ante este sorprendente esfuerzo por explicar lo real por lo imposible o —lo que es lo mismo— por explicar el ser real por el ser matemático, porque, como ya he dicho, estos cuerpos que se mueven en líneas rectas en un espacio vacío, infinito, no son cuerpos *reales* que se desplazan en un espacio real, sino cuerpos *matemáticos* que se desplazan en un espacio *matemático*.

unos con los otros. En la física aristotélica, así como en la del *impetus,* cada movimiento se interfiere con cada uno de los otros y algunas veces incluso le impide producirse.

48 El movimiento y el reposo se colocan así en el mismo nivel ontológico; la persistencia del *movimiento* se hace por lo tanto tan evidente por sí misma, sin que se necesite explicarla, como lo había sido precedentemente la persistencia del *reposo*.

49 En términos modernos: en la dinámica aristotélica, y en la del *impetus,* la fuerza produce el movimiento; en la dinámica moderna, la fuerza produce la aceleración.

50 Esto implica necesariamente la infinitud del universo.

Una vez más, estamos tan acostumbrados a la ciencia matemática, a la física matemática, que no notamos la rareza de un punto de vista matemático sobre el ser, la audacia paradójica de Galileo al declarar que el libro de la naturaleza está escrito con caracteres geométricos[51]. Para nosotros esto cae de su peso. Pero no para los contemporáneos de Galileo. Por consiguiente, lo que constituye un verdadero tema del *Dialogo sopra i due massimi sistemi dei mondo* es el derecho de la ciencia matemática, de la explicación matemática de la naturaleza, por oposición a la no matemática del sentido común y de la física aristotélica, mucho más que la oposición entre dos sistemas astronómicos. Es un hecho que el *Dialogo,* como creo haber demostrado en mis *Etudes galiléennes,* no es tanto un libro sobre *ciencia,* en el sentido que damos a esta palabra, cuanto un libro sobre filosofía —o, para ser completamente exacto y emplear una expresión en desuso pero venerable, un libro sobre *filosofía de la naturaleza*— por la sencilla razón de que la solución del problema astronómico depende de la constitución de una nueva *física,* la cual, a su vez, implica la solución de la cuestión *filosófica* del papel que desempeñan las matemáticas en la constitución de la ciencia de la naturaleza.

El papel y el puesto de las matemáticas en la ciencia no es realmente un problema muy nuevo. Muy al contrario: durante más de dos mil años ha sido el objeto de la meditación, la investigación y la discusión filosóficas. Galileo es perfectamente consciente de ello. ¡No hay nada asombroso en esto! Aún jovencísimo, de estudiante en la Universidad de Pisa, las conferencias de su maestro, Francisco Buonamici, podían haberle enseñado que la «cuestión» del papel y naturaleza de las matemáticas constituye el principal tema de oposición entre Aristóteles y Platón[52]. Y algunos años más tarde, cuando volvió a

[51] G. Galilei, *Il saggiatore, Opere,* VI, p. 232: «La filosofia é scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne umanamente parola». Cf. *Carta a Liceti* del 11 de enero de 1641, *Opere,* XVIII, p. 293.

[52] La enorme compilación de Buonamici (1011 páginas *in folio*) es una inestimable obra de referencia para el estudio de las teorías medievales del movimiento; aunque los historiadores de Galileo hayan *hecho mención* de ella a menudo, no la han utilizado nunca. El libro de Buonamici es muy raro. Por lo tanto, me permito dar de él una larga cita: Francisci Bonamici, Florentini, e primo loco philosophiam ordinariam in Almo

Pisa, como profesor esta vez, podía haber aprendido de su amigo y colega Jacobo Mazzoni, autor de un libro sobre Platón y Aristóteles, que «ningún otro problema ha dado lugar a más nobles y bellas especulaciones... que el de saber si el uso de las matemáticas en física como instrumento de prueba y término medio de la demostración es oportuno o no; dicho de otro modo, si nos es provechoso, o al contrario, peligroso y perjudicial». «Es bien sabido, dice Mazzoni, que Platón creía que las matemáticas son particularmente apropiadas a las investigaciones de la física, por eso él mismo acudió en varias ocasiones a ellas para explicar misterios físicos. Pero Aristóteles sostenía un punto de vista muy diferente y explicaba los errores de Platón por su excesiva adhesión a las matemáticas»[53].

Gymnasio Pisano profitentis, *De motu, libri X, quibus generalia naturalis philosophiae principia summo studio collecta continentur* (Florencia, 1591), libro X, cap. XI. *Jurene mathematicae ex ordine scientiarum expurgantur*, p. 56: «... Itaque veluti ministri sunt mathematicae, nec honore dignae et habitae *propaideia*, id est apparatus quidam ad alias disciplinas. Ob eamque potissime caussam, quod de bono mentionem facere non videntur. Etenim omne bonum est finis, is vero cuiusdam actus est. Omnis vero actus est cum motu. Mathematicae autem motum non respiciunt. Haec nostri addunt. Omnem scientiam ex propriis effici: propria vero sunt necessaria quae alicui (?) quatenus ipsum et per se insunt. Atqui talia principia mathematicae non habent... Nullum causae genus accipit... propterea quod omnes caussae definiuntur per motum: efficiens enim est principium motus, finis cuius gratia motus est, forma et materia sunt naturae; et motus igitur principia sint necesse est. At vero mathematica sunt inmobilia. Et nullum igitur ibi caussae genus existit» *Ibid.*, libro I, p. 54: «Mathematicae cum ex notis nobis et natura simul efficiant id quod cupiunt, sed caeteris demonstrationis perspicuitate praeponentur, nam vis rerum quas ipsae tractant non est admodum nobilis; quippe quod sunt accidentia, id est habeant rationem substantiae quatenus subiicitur et determinatur quanto; eaque considerentur longe secus atque in natura existant. Attamen non-nullarum rerum ingenium tale esse comperimus ut ad certam materiam sese non applicent, neque motum consequantur, quia tamen in natura quicquid est, cum motu existit; opus est abstractione cuius beneficio quantum motu non comprehenso in eo munere contemplamur; et cum talis sit earum natura nihil absurdi exoritur. Quod item confirmatur, quod mens in omni habitu verum dicit; atqui verum est ex eo, quod res ita est. Huc accedit quod Aristoteles distinguit scientias non ex ratione notionum sed entium.»

[53] Jacobi Mazzoni, Caesenatis, in Almo Gymnasio Pisano Aristotelem ordinarie Platonem vero extra ordinem profitentis, *In Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de comparatione Platonis et Aristotelis*, Venecia, 1597, pp. 187 ss., *Disputatur utrum usus mathematicarum in Physica utilitatem vel detrimentum afferat, et in hoc Platonis et Aristotelis comparatio.* «Non est enim inter Platonem et Aristotelem quaestio, seu differentia, quae tot pulchris, et nobilissimis speculationibus scateat, ut cum ista, ne in minima quidem parte comparari possit. Est autem differentia, utrum usus mathematicarum in scientia Physica

Vemos que para la conciencia científica y filosófica de la época —Buonamici y Mazzoni no hacen más que explicar la *communis opinio*— la oposición, o mejor, la línea divisoria entre el aristotélico y el platónico es perfectamente clara. Si reivindicamos para las matemáticas un estatuto superior, si además le atribuimos un valor real y una posición decisiva en física, somos platónicos. Si, por el contrario, vemos en las matemáticas una ciencia abstracta, así, pues, de menos valor que aquellas —física y metafísica— que tratan del ser real; si particularmente sostenemos que la física no necesita ninguna otra base que la experiencia y debe edificarse directamente sobre la percepción, que las matemáticas deben contentarse con el papel secundario y subsidiario de un simple auxiliar, somos aristotélicos.

De lo que se trata aquí no es de la certeza —ningún aristotélico ha puesto en duda la certeza de las proposiciones o demostraciones geométricas—, sino del ser; ni siquiera del empleo de las matemáticas en física —ningún aristotélico ha negado nunca nuestro derecho a medir lo que es mensurable y a contar lo que es numerable—, sino de la estructura de la ciencia y, por tanto, de la del ser.

Tales son las discusiones a las que Galileo hace continuamente alusión a lo largo de este *Dialogo*. De este modo, al principio, Simplicio, el aristotélico, subraya que en lo que concierne a las cosas naturales, no tenemos siempre obligación de buscar la necesidad de demostraciones matemáticas[54]. A lo que Sagredo, que se da el gusto de no comprender a Simplicio, replica: «Naturalmente, cuando no podéis alcanzarlo. Pero si pudiérais, ¿por qué no?» Naturalmente. Si es posible en cuestiones relativas a las cosas de la naturaleza alcanzar una demostración provista de rigor matemático, ¿por qué no habría-

tanquam ratio probandi et medius terminus demonstrationum sit opportunus, vel inopportunus, id est, an utilitatem aliquam afferat, vel potius detrimentum et damnum. Credidit Plato mathematicas ad speculationes physicas apprime esse accommodatas. Quapropter passim eas adhibet in reserandis mysteriis physicis. At Aristoteles omnino secus sentire videtur, erroresque Platonis adscribet amori Mathematicarum... Sed si quis voluerit, hanc rem diligentius considerare, forsan, et Platonis defensionem inveniet, videbit Aristotelem in nonnullos errorum scopulos impegisse, quod quibusdam in locis Mathematicas demonstrationes proprio consilio valde consentaneas, aut non intellexerit, aut certe non adhibuerit. Utramque conclusionem, quarum prima ad Platonis tutelam attinet, secunda errores Aristotelis ob Mathematicas male rejectas profitetur, brevissime demonstrabo.»

[54] Cf. Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, *Opere*, Ed. Naz., VII, 38; cf. p. 256.

mos de intentar hacerlo? Pero ¿es posible? Aquí tenemos exactamente el problema, y Galileo, en el margen del libro, resume la discusión y expresa el verdadero pensamiento del aristotélico: «En las demostraciones relativas a la naturaleza —dice—, no hay que buscar la exactitud matemática.»

No se debe. ¿Por qué? Porque es imposible. Porque la naturaleza del ser físico es cualitativa y vaga. No se conforma con la rigidez y precisión de los conceptos matemáticos. Pertenece siempre al «poco más o menos». Así, pues, como el aristotélico nos explicará más tarde, la filosofía, que es la ciencia de lo real, no necesita examinar los detalles ni recurrir a las determinaciones numéricas al formular sus teorías del movimiento; todo lo que debe hacer es enumerar sus principales categorías (natural, violento, rectilíneo, circular) y describir sus rasgos generales, cualitativos y abstractos [55].

El lector moderno está probablemente lejos de estar convencido de ello. Encuentra difícil admitir que «la filosofía» haya tenido que contentarse con una generalización abstracta y vaga y no intentar establecer leyes universales, precisas y concretas. El lector moderno no conoce la verdadera razón de esta necesidad, pero los contemporáneos de Galileo la conocían muy bien. Sabían que la cualidad, tanto como la forma, siendo por naturaleza no matemática, no podía ser analizada en términos matemáticos. La física no es geometría aplicada. La materia terrestre no puede nunca enseñar figuras matemáticas exactas; las «formas» no la «informan» nunca completa y perfectamente. Siempre queda una distancia. En los cielos, por supuesto, no ocurre lo mismo; por consiguiente, la astronomía matemática es posible. Pero la astronomía no es la física. Que esto se le haya escapado a Platón es precisamente su error, y el de sus partidarios. Es inútil intentar edificar una filosofía matemática de la naturaleza. La empresa está condenada incluso antes de empezar. No conduce a la verdad, sino al error.

«Todas estas sutilezas matemáticas —explica Simplicio— son verdaderas *in abstracto*. Pero, aplicadas a la materia sensible y física no funcionan» [56]. En la verdadera naturaleza no hay ni círculos, ni triángulos, ni líneas rectas. Es inútil, pues, aprender el lenguaje de las figuras matemáticas: el libro de la naturaleza no está escrito en ellas, a pesar de Galileo y de Platón. Realmente, no sólo es inútil; es peligroso: cuanto más se acostumbra el espíritu a la precisión y rigidez del pensamiento

[55] Cf. *Dialogo*, p. 242.
[56] *Ibid.*, p. 229, p. 423.

geométrico, menos capaz será de captar la diversidad móvil, cambiante, cualitativamente determinada del ser.

Esta actitud del aristotélico no tiene nada de ridícula[57]. A mí, por lo menos, me parece perfectamente sensata. No se puede establecer una teoría matemática de la cualidad, objeta Aristóteles a Platón; ni siquiera del movimiento. No hay movimiento en los números. Pero *ignorato motu, ignoratur natura.* El aristotélico de la época de Galileo podía añadir que el más grande de los platónicos, el mismo Arquímedes[58] el *divino,* no pudo nunca elaborar más que una estática. No una dinámica. Una teoría del reposo. No del movimiento.

El aristotélico tenía toda la razón. Es imposible obtener una deducción matemática de la cualidad. Sabemos bien que Galileo, como Descartes un poco más tarde, y por la misma razón, se vio obligado a suprimir la noción de cualidad, a declararla subjetiva, a expulsarla del ámbito de la naturaleza[59]. Lo que implica al mismo tiempo que se vio obligado a suprimir la percepción de los sentidos como fuente de conocimiento y a declarar que el conocimiento intelectual, e incluso *a priori,* es nuestro solo y único medio de aprehender la esencia de lo real.

En cuanto a la dinámica y a las leyes del movimiento, el *posse* no debe ser probado más que por el *esse;* para demostrar que es posible establecer las leyes matemáticas de la naturaleza, hay que hacerlo. No hay otro medio, y Galileo es perfectamente consciente de ello. Así, pues, es dando soluciones matemáticas a problemas físicos concretos —el de la caída de los cuerpos, el del movimiento de un proyectil— como lleva a Simplicio a confesar que «querer estudiar problemas de la naturaleza sin matemáticas, es intentar algo que no puede ser hecho».

Me parece que podemos ahora comprender el sentido de este texto significativo de Cavalieri, que, en 1630, escribe en su *Specchio ustorio*: «Todo lo que aporta (añade) el conocimiento de las ciencias matemáticas que las célebres escuelas de los pitagóricos y los platónicos consideraban como supremamente necesario para la comprensión de las cosas físicas, aparecerá claramente pronto, espero, con la publicación de la nueva cien-

[57] Como se sabe, fue la de Pascal e incluso de Leibniz.

[58] Vale quizás la pena señalar que para toda la tradición doxográfica, Arquímedes es un *philosophus platonicus.*

[59] Cf. E. A. Burtt, *The methaphysical foundations of modern physical science,* Londres y Nueva York, 1925.

cia del movimiento prometida por este maravilloso verificador de la naturaleza, Galileo Galilei»[60].

Comprendemos también el orgullo de Galileo el platónico, que en sus *Discorsi e dimostrazioni* anuncia que «va a promover una ciencia completamente nueva a propósito de un problema muy antiguo» y que probará algo que nadie ha probado nunca hasta entonces, es decir, que el movimiento de la caída de los cuerpos está sujeto a la ley de los números[61]. El movimiento gobernado por números; la objeción aristotélica se encontraba por fin refutada.

Es evidente que para los discípulos de Galileo, lo mismo que para sus contemporáneos y antepasados, matemática significa platonismo. Por consiguiente, cuando Torricelli nos dice «que entre las artes liberales *sólo* la geometría ejercita y aguza el espíritu y lo hace capaz de ser un adorno de la ciudad en tiempos de paz y de defenderla en tiempos de guerra», y que, «*caeteris paribus*, un espíritu adiestrado en la gimnasia geométrica está dotado de una fuerza completamente particular y *viril*»[62], no se muestra sólo discípulo auténtico de Platón, sino que se reconoce y proclama como tal. Al hacer esto, sigue siendo un fiel discípulo de su maestro Galileo, que en su *Respuesta a los ejercicios filosóficos*, de Antonio Rocco, se dirige a este último pidiéndole que juzgue por sí mismo el valor de dos métodos rivales —el método puramente físico y empírico, y el matemático—, y añade: «Decidid al mismo tiempo quién razonó mejor: Platón, que dijo que sin matemáticas no se podría

[60] Bonaventura Cavalieri, *Lo specchio ustorio overo tratatto delle settioni coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al lume, etc.*, Bolonia, 1632, pp. 152 ss.: «Ma quanto vi aggiunga la cognitione delle scienze matematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de Pithagorici et de «Platonici» sommamente necessarie per intender le cose Fisiche, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne suoi Dialoghi...»

[61] Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni mathematiche in torno a due nuove scienze, Opere*, Ed. Naz., VIII, p. 190: «Nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes.»

[62] Evangelista Torricelli, *Opera geometrica*, Florencia, 1644, II, p. 7: «Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter exacuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates adornandas in pace et in bello defendendas: caeteris enim paribus, ingenium quod exercitatum sit in geometrica palestra, peculiare, quoddam et virile robur habere solet: praestabitque semper et antecellet, circa studia Arquitecturae, rei bellicae, nauticaeque, etc.»

aprender filosofía, o Aristóteles, que hizo a este mismo Platón el reproche de haber estudiado demasiada geometría»[63].

Acabo de llamar a Galileo platónico. Creo que nadie pondrá en duda que lo sea[64]. Además, lo dice él mismo. En las primeras páginas del *Dialogo*, Simplicio hace la observación de que Galileo, siendo matemático, experimenta probablemente simpatías por las especulaciones numéricas de los pitagóricos. Esto permite a Galileo declarar que los considera totalmente desprovistos de sentido y decir al mismo tiempo:

Sé perfectamente que los pitagóricos tenían la más alta estima por la ciencia de los números, y que Platón mismo admiraba la inteligencia del hombre y creía que éste participa en la divinidad por la única razón de que es capaz de comprender la naturaleza de los números. Yo mismo me siento inclinado a emitir el mismo juicio[65].

¿Cómo habría podido tener una opinión diferente, él que creía que en el conocimiento matemático el espíritu humano alcanza la perfección misma del entendimiento divino? ¿No dice que «bajo la relación de la *extensión*, es decir, en atención a la multiplicidad de las cosas que hay que conocer, que es infinita, el espíritu humano es como nada (aunque comprendiera un millar de proposiciones, porque un millar comparado

[63] Galileo Galilei, *Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere*, Ed. Naz., VII, p. 744.

[64] El platonismo de Galileo ha sido más o menos claramente reconocido por algunos historiadores modernos de las ciencias y de la filosofía. Así, el autor de la traducción alemana del *Dialogo* subraya la influencia platónica (doctrina de la reminiscencia) en la forma misma del libro (cf. G. Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*, aus dem italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss, Leipzig, 1891, p. XLIX); E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2.ª ed., Berlín, 1911, I, pp. 389 ss., insiste en el platonismo de Galileo en su ideal del conocimiento; L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Leipzig, 1927, habla de «la visión platónica de la naturaleza» de Galileo, etc. Es E. A. Burtt, *The methaphysical foundations of modern physical science*, Nueva York, 1925, quien mejor ha expuesto en mi opinión el trasfondo metafísico de la ciencia moderna (el matematismo platónico). Desgraciadamente Burtt no supo reconocer la existencia de *dos* (y no una) tradiciones platónicas, la de la especulación mística sobre los números y la de la ciencia matemática. El mismo error, pecado venial en el caso de Burtt, fue cometido por su crítico, E. W. Strong, *Procedures and metaphysics*, Berkeley, Cal., 1936, y en su caso fue pecado mortal. Sobre la distinción de los dos platonismos, cf. L. Brunschvicg, *Les étapes de la philosophie mathématique*, París, 1922, pp. 69 ss., y *Le progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, París, 1937, pp. 37 ss.

[65] *Dialogo*, p. 35.

con el infinito es como cero): pero bajo la relación de la *intensidad,* en tanto que este término signifique captar intensamente, es decir, perfectamente, una proposición dada, digo que el espíritu humano comprende algunas proposiciones tan perfectamente y con una certeza tan absoluta como la naturaleza misma pueda tener; a este género pertenecen las ciencias matemáticas puras, es decir, la geometría y la aritmética de las que incluso el intelecto divino conoce, por supuesto, infinitamente más proposiciones, por la sencilla razón de que las conoce todas; pero en cuanto al pequeño número que comprende el espíritu humano, creo que nuestro conocimiento iguala al conocimiento divino en certeza objetiva porque logra comprender sin necesidad, más allá de la cual no parece que pueda existir una certeza mayor?»[66].

Galileo habría podido añadir que el entendimiento humano es una obra de Dios tan perfecta que *ab initio* está en posesión de estas ideas claras y simples cuya simplicidad misma es una garantía de verdad, y que le basta para volverse hacia él mismo para encontrar en su «memoria» los verdaderos fundamentos de la ciencia y del conocimiento, el alfabeto, es decir, los elementos del lenguaje —el lenguaje matemático— que habla la naturaleza creada por Dios. Hay que encontrar el verdadero fundamento de una ciencia *real,* una ciencia del mundo *real,* no de una ciencia que sólo llega a la verdad puramente formal, la verdad intrínseca del razonamiento y de la deducción matemáticos, una verdad que no esté afectada por la no existencia, en la naturaleza, de los objetos que estudia; es evidente que Galileo no se contentaría, como tampoco Descartes, con tal sucedáneo de ciencia y de conocimiento reales.

A propósito de esta ciencia, verdadero conocimiento «filosófico» que es conocimiento de la esencia misma del ser, Galileo proclama: «Y yo os digo que si alguien no conoce la verdad por sí mismo, es imposible que cualquiera le dé este conocimiento. Efectivamente, es posible enseñar las cosas que no son ni verdaderas ni falsas, pero las verdaderas, con lo que yo entiendo las cosas necesarias, es decir, las que no pueden ser de otro modo, toda mediana inteligencia las conoce por sí misma, o no puede comprenderlas nunca»[67]. Seguramente. Un platónico no puede tener una opinión distinta, puesto que, para él, conocer no es otra cosa que comprender.

[66] *Dialogo,* p. 128 ss.
[67] *Dialogo,* p. 183.

En las obras de Galileo, las alusiones tan numerosas a Platón, la mención repetida de la mayéutica socrática y de la doctrina de la reminiscencia, no son adornos superficiales que provienen del deseo de amoldarse a la moda literaria surgida del interés que siente por Platón el pensamiento del Renacimiento. Tampoco están encaminadas a ganar para la nueva ciencia la simpatía del «lector medio» cansado y asqueado por la aridez de la escolástica aristotélica, ni a revestirse contra Aristóteles de la autoridad de su maestro y rival, Platón. Muy al contrario, estas alusiones son perfectamente serias y deben ser tomadas tal cual. De este modo, para que nadie pueda tener la mínima duda en cuanto a su punto de vista filosófico, Galileo insiste [68]:

SALVIATI: La solución del problema en cuestión implica el conocimiento de algunas verdades que conocéis tan bien como yo. Pero como no os acordáis, no veis esta solución. De este modo, sin enseñaros, porque las conocéis ya, por el sólo hecho de recordároslas, os haré resolver el problema a vos mismo.

SIMPLICIO: Muchas veces me he asombrado al ver vuestro modo de razonar que me hace pensar que os inclináis hacia la opinión de Platón, *nostrum scire sit quoddam reminisci*, os lo suplico, libradme de esta duda y decidme vuestro propio pensamiento.

SALVIATI: Lo que pienso de esta opinión de Platón, puedo explicarlo con palabras y también con hechos. En los argumentos adelantados hasta aquí, de hecho me he pronunciado ya más de una vez. Ahora quiero aplicar el mismo método a la investigación en curso, investigación que puede servir de ejemplo para ayudaros a comprender más fácilmente mis ideas en cuanto a la adquisición de la ciencia...

La investigación «en curso» no es más que la deducción de las proposiciones fundamentales de la mecánica. Sabemos que Galileo juzga haber hecho algo más que declararse simplemente adepto y partidario de la epistemología platónica. Además, al aplicar esta epistemología, al descubrir las verdaderas leyes de la física, al hacerlas deducir por Sagredo y Simplicio, es decir, por el *lector* mismo, por *nosotros*, cree haber demostrado la verdad del platonismo «realmente». El *Dialogo* y los *Discorsi* nos dan la historia de una experiencia intelectual, de una experiencia concluyente, puesto que termina con la confesión llena de lamentos del aristotélico Simplicio, que reconoce la necesidad de estudiar las matemáticas y lamenta no haberlas estudiado él mismo en su juventud.

[68] *Ibid.*, p. 217.

El *Dialogo* y los *Discorsi* nos cuentan la historia del descubrimiento, o mejor aún, del redescubrimiento del lenguaje que habla la naturaleza. Nos explican el modo de interrogarla, es decir, la teoría de esta experimentación científica en la que la formulación de los postulados y la deducción de sus consecuencias preceden y guían el recurso a la observación. Esto también, por lo menos para Galileo, es una prueba «de facto». La ciencia nueva es para él una prueba experimental del platonismo.

GALILEO Y LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA DEL SIGLO XVII *

La ciencia moderna no ha brotado perfecta y completa de los cerebros de Galileo y Descartes, como Atenea de la cabeza de Zeus. Al contrario. La revolución galileana y cartesiana —que sigue siendo, a pesar de todo, una revolución— había sido preparada por un largo esfuerzo del pensamiento. Y no hay nada más interesante, más instructivo ni más sobrecogedor que la historia de este esfuerzo, la historia del pensamiento humano que trata con obstinación los mismos eternos problemas, encontrando las mismas dificultades, luchando sin tregua contra los mismos obstáculos y forjando lenta y progresivamente los instrumentos y herramientas, es decir, los nuevos conceptos, los nuevos métodos de pensamiento, que permitirán por fin superarlos.

Es una larga y apasionante historia, demasiado larga para ser contada aquí. Y, sin embargo, para comprender el origen, el alcance y la significación de la revolución galileo-cartesiana, no podemos dejar de lanzar por lo menos una mirada atrás hacia algunos contemporáneos y predecesores de Galileo.

La física moderna estudia en primer lugar el movimiento de los cuerpos que pesan, es decir, el movimiento de los cuerpos que nos rodean. Por ello es del esfuerzo de explicar los hechos y fenómenos de la experiencia cotidiana —el hecho de la caída, el acto del lanzamiento— de donde procede el movimiento de ideas que conduce al establecimiento de sus leyes fundamentales. Y, sin embargo, no se deriva de él ni exclusiva ni siquiera principal o directamente. La física moderna no debe su origen

* Texto de una conferencia pronunciada en el Palais de la Découverte el 7 de mayo de 1955 («Les Conférences du Palais de la Découverte», serie D, núm. 37, París, Palais de la Découverte, 1955, 19 pp.). Anteriormente se había publicado una versión en lengua inglesa de este texto («Galileo and the scientific revolution of the XVIIth century», *Philosophical Review*, 1943, pp. 333-348).

a la Tierra solamente. Lo debe igualmente a los cielos. Y es en los cielos donde encuentra su perfección y su fin.

Este hecho, el hecho de que la física moderna tenga su prólogo y su epílogo en el cielo, o más simplemente, el hecho de que la física moderna tenga su fuente en el estudio de los problemas astronómicos y mantenga esta unión a través de toda su historia, tiene un sentido profundo e implica importantes consecuencias. Implica sobre todo el abandono de la concepción clásica y medieval del cosmos —unidad cerrada de un todo, todo cualitativamente determinado y jerárquicamente ordenado, en el que las partes diferentes que lo componen, a saber, el Cielo y la Tierra, están sujetas a leyes diferentes— y su sustitución por la del universo, es decir, por un conjunto abierto e indefinidamente extendido del ser, unido por la identidad de las leyes fundamentales que lo gobiernan; él determina la fusión de la *física celeste* con la *física terrestre*, que permite a esta última utilizar y aplicar a sus problemas los métodos matemáticos hipotético-deductivos desarrollados por la primera; implica la imposibilidad de establecer y elaborar una física terrestre o, por lo menos, una mecánica terrestre, sin desarrollar al mismo tiempo una mecánica celeste. Explica el fracaso parcial de Galileo y Descartes.

La física moderna, es decir, la que ha nacido con y en las obras de Galileo Galilei y ha acabado en las de Albert Einstein, considera la ley de la inercia como su ley más fundamental. Tiene mucha razón, pues, tal como dice el viejo adagio, *ignorato motu, ignoratur natura*, y la ciencia moderna tiende a explicar todo por «el número, la figura y el *movimiento*». Realmente fue Descartes y no Galileo[1] quien por primera vez comprendió totalmente su alcance y sentido. Y, sin embargo, Newton no se equivoca del todo al atribuir a Galileo el mérito de su descubrimiento. Efectivamente, aunque Galileo no formulara explícitamente el principio de inercia, su mecánica implícitamente está basada en éste. Y es sólo su duda en sacar o admitir las consecuencias últimas —o implícitas— de su propia concepción del movimiento, su duda en rechazar completa y radicalmente los datos de la experiencia en favor del postulado teórico que tanto le costó establecer, lo que le impide dar el último paso en el camino que le lleva del cosmos finito de los griegos al universo infinito de los modernos. El principio de inercia es muy simple. Afirma que un cuerpo abandonado a sí mismo permanece en su *estado* de reposo o movimiento tanto

[1] Cf. mis *Études galiléennes*, París, Hermann, 1939.

tiempo como este estado no esté sometido a la acción de una fuerza exterior cualquiera. En otros términos, un cuerpo en reposo permanecerá eternamente en reposo a menos que sea puesto en movimiento. Y un cuerpo en movimiento continuará moviéndose y se mantendrá en su movimiento rectilíneo y uniforme hasta que alguna fuerza exterior le impida hacerlo[2].

El principio del movimiento de inercia nos parece perfectamente claro, plausible e incluso prácticamente evidente. Nos parece completamente natural que un cuerpo en reposo permanezca en reposo, es decir, permanezca allí donde está —donde sea— y no se mueva espontáneamente para colocarse en otro sitio, y que, *converso modo*, una vez puesto en movimiento, continúe moviéndose, y moviéndose en la misma dirección y con la misma velocidad, porque, en efecto, no vemos razón ni causa para que cambie una u otra. Esto nos parece no sólo verosímil, sino evidente. Nadie, creemos ha pensado de otro modo nunca. Sin embargo, no hay nada de eso. Realmente, los caracteres de «verosimilitud» y «evidencia» de que gozan las concepciones que acabo de evocar datan de ayer. Los poseen para nosotros, gracias justamente a Galileo y Descartes, mientras que para los griegos, como para la Edad Media, habrían parecido —o han parecido— ser manifiestamente falsas, e incluso absurdas. Este hecho no puede ser explicado más que si admitimos o reconocemos que todas estas nociones «claras» y «simples» que forman la base de la ciencia moderna, no son «claras» y «simples» *per se* e *in se*, sino en la medida en que forman parte de un cierto conjunto de conceptos y axiomas fuera del cual ya no son en absoluto «simples».

Esto, a su vez, nos permite comprender por qué el descubrimiento de cosas tan simples y fáciles como, por ejemplo, las leyes fundamentales del movimiento, que hoy se les enseñan a los niños —que las comprenden— ha exigido un esfuerzo tan considerable y un esfuerzo que a menudo no ha tenido éxito, a algunos de los espíritus más profundos y poderosos de la humanidad: es que ellos no tenían que descubrir o establecer estas leyes simples y evidentes, sino que tenían que crear y construir el marco mismo que haría posible estos descubrimientos. Para empezar, han tenido que reformar nuestro propio intelecto; darle una serie de conceptos nuevos; elaborar una

[2] Cf. Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica;* Axiomata sive leges motus; lex I: corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viris impressis cogitur statum illum mutare.

idea nueva de la naturaleza, una concepción nueva de la ciencia; dicho de otro modo, una nueva filosofía. Ahora bien, nos es casi imposible apreciar en su justo valor los obstáculos que ha habido que salvar para establecerlas y las dificultades que implican y contienen: porque conocemos demasiado bien los conceptos y principios que forman la base de la ciencia moderna, o más exactamente, porque nos hemos habituado demasiado a ellos.

El concepto galileano de movimiento (igual que el de espacio) nos parece tan natural que creemos incluso que la ley de la inercia deriva de la experiencia y la observación, aunque, evidentemente, nadie ha podido observar jamás un movimiento de inercia, por la simple razón de que tal movimiento es completa y absolutamente imposible.

Estamos igualmente tan acostumbrados a la utilización de las matemáticas para el estudio de la naturaleza que no nos damos cuenta de la audacia de la aserción de Galileo de que «el libro de la naturaleza está escrito en caracteres geométricos», como tampoco somos conscientes del carácter paradójico de su decisión de tratar la mecánica como una rama de las matemáticas, es decir, de sustituir el mundo real de la experiencia cotidiana por un mundo geométrico hipostasiado y explicar lo real por lo imposible.

En la ciencia moderna, como sabemos bien, el espacio real se identifica con el de la geometría, y el movimiento se considera como una traslación puramente geométrica de un punto a otro. Por eso, el movimiento no afecta de ningún modo al cuerpo que está provisto de él. El hecho de estar en movimiento o en reposo no produce modificación alguna en el cuerpo; esté en movimiento o reposo, siempre es idéntico a sí mismo. Como tal, es absolutamente indiferente a los dos. Por ello, somos incapaces de atribuir el movimiento a un cuerpo determinado tomado en sí mismo.

Un cuerpo está en movimiento sólo con relación a otro cuerpo que suponemos que está en reposo. Por eso podemos atribuirlo a uno u otro de los dos cuerpos, *ad libitum*. Todo movimiento es relativo.

Igual que el movimiento no afecta al cuerpo que lo posee, un movimiento dado no ejerce ninguna influencia en los otros movimientos que el cuerpo en cuestión podría realizar al mismo tiempo. Así, un cuerpo puede estar provisto de un número indeterminado de movimientos que se combinen según leyes puramente geométricas, y, viceversa, todo movimiento dado puede

descomponerse según estas mismas leyes en un número indeterminado de movimientos que lo componen.

Ahora bien, admitido esto, el movimiento se considera, sin embargo, como un *estado*, y el reposo como otro *estado* completa y absolutamente opuesto al primero; por esto, debemos aplicar una fuerza para cambiar el *estado* de movimiento de un cuerpo dado al de reposo, y viceversa.

Resulta de ello que un cuerpo en estado de movimiento persistirá eternamente en este movimiento, como un cuerpo en reposo persiste en su reposo; y que ya no se necesitará una fuerza o causa para mantenerlo en su movimiento uniforme y rectilíneo, como tampoco se necesitará para mantenerlo inmóvil, en reposo.

En otros términos, el principio de inercia presupone: *a)* la posibilidad de aislar un cuerpo dado de todo su entorno físico, y considerarlo como algo que se realiza simplemente en el espacio; *b)* la concepción del espacio que le identifica con el espacio homogéneo infinito de la geometría euclidiana, y *c)* una concepción del movimiento y del reposo que los considera como *estados* y los coloca en el mismo nivel ontológico del ser. Sólo a partir de estas premisas parece evidente e incluso admisible. Por eso, no es de extrañar que estas concepciones parecieran difíciles de admitir —e incluso de comprender— a los predecesores y contemporáneos de Galileo; no es de extrañar que para sus adversarios aristotélicos la noción de movimiento comprendido como un estado relativo, persistente y sustancial, pareciera tan abstrusa y contradictoria como nos parecen las famosas formas sustanciales de la escolástica; no es de extrañar que Galileo haya tenido que realizar grandes esfuerzos antes de haber logrado formar esta concepción, y que grandes genios como Bruno e incluso Kepler no lograran alcanzar esta meta. Realmente, incluso en nuestros días la concepción que describimos no es fácil de captar. El sentido común es —y lo ha sido siempre— medieval y aristotélico.

Ahora debemos lanzar una ojeada a la concepción pregalileana y sobre todo aristotélica del movimiento y del espacio. No voy, por supuesto, a intentar hacer aquí una exposición de la física aristotélica. Voy sólo a señalar algunos de sus rasgos característicos, rasgos que la oponen a la física moderna.

Querría señalar igualmente un hecho que es a menudo mal conocido, a saber, el hecho de que la física de Aristóteles no es un montón de incoherencias, sino, al contrario, una teoría científica, altamente elaborada y perfectamente coherente, que no sólo posee una base filosófica muy profunda, sino que, como

lo han demostrado P. Duhem y P. Tannery[3], concuerda —mucho más que la de Galileo— con el sentido común y la experiencia cotidiana.

La física de Aristóteles está basada en la percepción sensible y por esto es resueltamente antimatemática. Se niega a sustituir por una abstracción geométrica hechos cualitativamente determinados por la experiencia y por el sentido común, y niega la posibilidad misma de una física matemática, fundándose: *a)* en una heterogeneidad de los conceptos matemáticos con los datos de la experiencia sensible; *b)* en la incapacidad de las matemáticas para explicar la cualidad y deducir el movimiento. No hay ni cualidad ni movimiento en el reino intemporal de las figuras y de los números.

En cuanto al movimiento (*kinesis*) e incluso al movimiento local, la física aristotélica lo considera como una especie de proceso de cambio, en oposición al *reposo*, que, siendo el fin y la meta del movimiento, debe ser reconocido como un *estado*. Todo movimiento es cambio (actualización o corrupción) y, por consiguiente, un cuerpo en movimiento no sólo cambia con relación a los otros cuerpos, sino que al mismo tiempo está sometido a un proceso de cambio. Por eso el movimiento afecta siempre al cuerpo que se mueve, y, por consiguiente, si el cuerpo está provisto de dos o varios movimientos, éstos se entorpecen, se obstaculizan mutuamente y son a veces incompatibles uno con otro. Además, la física aristotélica no admite el derecho, ni siquiera la posibilidad, de identificar el espacio concreto de su cosmos finito y bien ordenado con el espacio de la geometría, como tampoco admite la posibilidad de aislar un cuerpo dado de su entorno físico (y cósmico). Por consiguiente, cuando se trata de problemas concretos de física, es siempre necesario tener en cuenta el orden del mundo, considerar la región del ser (el puesto «natural») a la que un cuerpo dado pertenece por su naturaleza misma; por otro lado, es imposible intentar someter estos diferentes ámbitos a las mismas leyes, incluso —y sobre todo, quizá— a las mismas leyes del movimiento.

Así, por ejemplo, los cuerpos terrestres se mueven en línea recta; los celestes, en círculos; los cuerpos pesados descienden, mientras que los ligeros se elevan; estos movimientos son para ellos «naturales»; al contrario, no es natural para un cuer-

[3] Cf. P. Duhem, *Le système du monde*, vol. I, pp. 91 ss., París, Hermann, 1915; P. Tannery «Galilée et les principes de la dynamique», *Mémoires scientifiques*, vol. VI, París, 1926.

po pesado subir y para un cuerpo ligero bajar: sólo por «violencia» podemos hacerles efectuar estos movimientos, etc.

Está claro, incluso después de este breve resumen, que el movimiento, considerado como un *proceso de cambio* (y no como un *estado*) no puede prolongarse espontánea y automáticamente, que exige, para persistir, la acción continua de un motor o una causa y que se detiene de golpe desde el momento en que esta acción cesa de ejercerse sobre el cuerpo en movimiento, es decir, desde el momento en que el cuerpo en cuestión es separado de su motor. *Cessante causa cessat effectus.* Se deduce que, como es evidente, el tipo de movimiento postulado por el principio de inercia es totalmente imposible e incluso contradictorio.

Volvamos ahora hacia los hechos. Ya he dicho que la ciencia moderna había nacido en un contacto estrecho con la astronomía; de un modo más preciso, tiene su origen en la necesidad de afrontar las objeciones *físicas* opuestas por numerosos sabios de la época a la astronomía copernicana. Realmente, estas objeciones no tenían nada de nuevo: muy al contrario, a pesar de ser presentadas algunas veces bajo una forma ligeramente modernizada (por ejemplo, sustituyendo por el tiro de una bala de cañón el viejo argumento del lanzamiento de una piedra) son idénticas, en cuanto al fondo, a las que Aristóteles y Tolomeo planteaban contra la posibilidad del movimiento de la Tierra. Es muy interesante, sin embargo, y muy instructivo ver estas objeciones discutidas y vueltas a discutir por el propio Copérnico, por Bruno, Tycho Brahe, Kepler y Galileo [4].

Los argumentos de Aristóteles y de Tolomeo, despojados del adorno gráfico que les han dado, pueden ser reducidos a la aserción de que si la Tierra se moviera, este movimiento habría afectado a los fenómenos que se manifiestan en la superficie de dos modos perfectamente determinados: 1.º la velocidad formidable de este movimiento (rotativo) desarrollaría una fuerza centrífuga de tal amplitud que los cuerpos no unidos a la Tierra serían lanzados lejos; 2.º este mismo movimiento obligaría a todos los cuerpos no ligados a la tierra, o temporalmente separados de ella, como las nubes, pájaros, cuerpos lanzados al espacio, etc., a quedarse atrás. Por esto, al caer una piedra desde lo alto de una torre, no caería nunca a su lado, y, *a fortiriori*, una piedra (o una bala) lanzada (o arrojada) perpendicularmente al aire, no volvería a caer nunca en el lugar de donde había partido, puesto que durante el tiempo de su caída

[4] Cf. *Études galiléenes*, III: *Galilée et le principe d'inertie.*

o de su vuelo, este lugar habría sido «rápidamente retirado de debajo y se encontraría en otro sitio».

No debemos burlarnos de este argumento. Desde el punto de vista de la física aristotélica, es completamente justo. Tan justo, incluso, que sobre la base de esta física es irrefutable. Para destruirlo debemos cambiar todo el sistema y desarrollar un nuevo concepto de movimiento: justamente el concepto de movimiento de Galileo.

Como hemos expuesto, el movimiento para los aristotélicos es un proceso que afecta al móvil, que tiene lugar «en» el cuerpo en movimiento. Un cuerpo al caer se mueve de A a B, de un cierto lugar situado encima de la Tierra hacia ésta, o, más exactamente, *hacia su centro*. Sigue la línea recta que une estos dos puntos. Si durante este movimiento la Tierra gira alrededor de su eje, describe con relación a esta línea (la línea que va de A hacia el centro de la Tierra) un movimiento en el que no toman parte ni esa línea ni el cuerpo que está separado de ella. El hecho de que la Tierra se mueva por debajo de él no puede afectar a su trayectoria. El cuerpo no puede correr tras la Tierra, prosigue su camino como si nada pasara, pues, en efecto, a él nada le ocurre. Incluso el hecho de que el punto A (lo alto de la torre) no permanezca inmóvil, sino que participe en el movimiento de la Tierra, no tiene ninguna importancia para su movimiento: lo que se produce en el punto de partida del cuerpo (después de abandonarlo) no tiene la menor influencia en su comportamiento.

Esta concepción puede parecernos extraña. Pero no es en modo alguno absurda: es de esta manera exactamente como nos imaginamos el movimiento —o la propagación— de un rayo de luz: este rayo no participa en el movimiento de su origen. Ahora bien, si el cuerpo, al separarse de la torre, o de la superficie de la Tierra, cesara de participar en el movimiento de ésta, un cuerpo lanzado desde lo alto de una torre no caería nunca efectivamente a su lado: y una piedra o una bala de cañón lanzada verticalmente al aire no volvería a caer nunca en el lugar de donde había salido. Lo que implica *a fortiori* que una piedra o una bala al caer del mástil de un navío en marcha, no caerá nunca a su lado.

La respuesta de Copérnico a los argumentos de los aristotélicos es, a decir verdad, bastante débil: intenta demostrar que consecuencias desgraciadas deducidas por estos últimos podrían ser justas en el caso de un movimiento «violento». Pero no en el del movimiento de la Tierra y con relación a las cosas que pertenecen a la Tierra, pues, para ellas, es un movimiento

natural. Es la razón por la que todas estas cosas, las nubes, los pájaros, las piedras, etc., participan en el movimiento y no se quedan atrás.

Los argumentos de Copérnico son muy débiles. Y, sin embargo, llevan en sí los gérmenes de una nueva concepción que será desarrollada por pensadores que le sucederán. Los razonamientos de Copérnico aplican las leyes de la «mecánica celeste» a los fenómenos terrestres, un paso que implícitamente anuncia el abandono de la vieja división cualitativa del cosmos en dos mundos diferentes. Además, Copérnico explica el trayecto *aparentemente rectilíneo* (aunque realmente describa una curva) del cuerpo en caída libre por su participación en el movimiento de la Tierra; al ser este movimiento común a la Tierra, a los cuerpos y a nosotros mismos, para nosotros es «como si no existiera».

Los argumentos de Copérnico están basados en una concepción mítica de la «naturaleza común de la Tierra y de las cosas terrestres». La ciencia posterior deberá sustituirla por el concepto de un sistema físico, de un sistema de cuerpos que comportan el mismo movimiento; deberá apoyarse en la relatividad *física* y no *óptica* del movimiento. Todo esto es imposible sobre la base de la filosofía aristotélica del movimiento, y exige la adopción de otra filosofía. En realidad, como vamos a ver más claro todavía, en esta discusión nos encontramos con problemas filosóficos.

La concepción del sistema físico, o más exactamente mecánico, que estaba implícitamente presente en los argumentos de Copérnico, fue elaborada por Giordano Bruno. Bruno descubrió, por una intuición genial, que la nueva astronomía debía abandonar inmediatamente la concepción de un mundo cerrado y finito para sustituirla por la de un universo abierto e infinito. Esto implica el abandono de la noción de lugares naturales y, por tanto, de la de movimientos «naturales» opuestos a los no naturales o «violentos». En el universo infinito de Bruno, en el que la concepción platónica del espacio comprendido como «receptáculo» sustituye a la concepción aristotélica del espacio comprendido como «envoltura», los «lugares» son perfectamente equivalentes y, por consiguiente, perfectamente naturales para todos los cuerpos cualesquiera que sean. Allí donde Copérnico hace una distinción entre el movimiento «natural» de la Tierra y el movimiento «violento» de las cosas que están sobre la Tierra, Bruno los asimila. Todo lo que pasa en la Tierra, suponiendo que se mueva, nos explica, es una contrapartida exacta de lo que ocurre en un navío que se desliza

por la superficie del mar; y el movimiento *de* la Tierra no tiene más influencia en el movimiento *sobre* la tierra que el movimiento *del* navío sobre las cosas que están *sobre* o *en* ese navío.

Las consecuencias deducidas por Aristóteles podrían producirse sólo si el origen, es decir, el lugar de partida del cuerpo que se mueve, fuera exterior a la Tierra y no ligado a ésta.

Bruno demuestra que el lugar de origen en cuanto tal no desempeña ningún papel en la definición del movimiento (del trayecto) del cuerpo que se mueve, y que lo que importa es la unión —o la falta de unión— entre este lugar y el sistema mecánico. Un «lugar» idéntico, puede incluso —*horribile dictu*— pertenecer a dos o varios sistemas. Así, por ejemplo, si imaginamos dos hombres, uno encaramado en lo alto del mástil de un navío que pasa bajo un puente y el otro de pie en el puente, podemos imaginarnos que en un cierto momento las manos de estos dos hombres estarán en un lugar idéntico. Si en este momento cada uno de ellos deja caer una piedra, la del hombre del puente caerá directamente en el agua, mientras que la del hombre del mástil seguirá el movimiento del navío y (describiendo una curva muy particular con relación al puente) caerá junto al mástil. Bruno explica la causa de este comportamiento diferente por el hecho de que la segunda piedra, habiendo compartido el movimiento del navío, retiene en sí misma una parte de la *virtud motriz* de la que ha estado impregnada.

Tal como lo vemos, Bruno sustituye la dinámica aristotélica por la dinámica del *impetus* de los nominalistas parisienses. Le parece que esta dinámica proporciona una base suficiente para elaborar una física adaptada a la astronomía de Copérnico, lo que, como nos ha demostrado la historia, era erróneo.

Es verdad que la concepción del *impetus*, virtud o potencia que anima los cuerpos en movimiento, que produce este movimiento y se desgasta por eso mismo, permitió a Bruno refutar los argumentos de Aristóteles, por lo menos algunos de ellos. Sin embargo, no podía descartarlos todos y, todavía menos, proporcionar los fundamentos capaces de sustentar el edificio de la ciencia moderna.

Los argumentos de Giordano Bruno nos parecen muy razonables. Sin embargo, en su época, no produjeron ninguna impresión, ni en Tycho Brahe, que en su polémica con Rothmann repite incansablemente las viejas objeciones aristotélicas, aunque modernizándolas un poco; ni siquiera en Kepler, que, aunque influido por Bruno, se cree obligado a volver a los ar-

gumentos de Copérnico, sustituyendo la concepción mítica (la identidad de la naturaleza) del gran astrónomo por una concepción física, la de la fuerza de atracción.

Tycho Brahe no admite que la bala que cae desde lo alto del mástil de un navío en movimiento acabe al pie de ese mástil. Afirma que, muy al contrario, caerá atrás, y cuanto mayor sea la velocidad del navío, más lejos caerá. Igualmente, las balas de un cañón lanzadas verticalmente al aire no pueden volver al cañón.

Tycho Brahe añade que si la Tierra se moviera como pretende Copérnico, no sería posible enviar una bala de cañón a la misma distancia, al este y al oeste: el movimiento extremadamente rápido de la Tierra, compartido por la bala, vendría a impedir el movimiento de ésta, e incluso lo haría imposible si la bala en cuestión debiera moverse en una dirección opuesta a la del movimiento de la Tierra.

El punto de vista de Tycho Brahe puede parecernos extraño, pero no debemos olvidar que, a su vez, Tycho Brahe debía encontrar las teorías de Bruno absolutamente increíbles e incluso exageradamente antropomórficas. Pretender que dos cuerpos, al caer del mismo lugar y yendo hacia el mismo punto (al centro de la Tierra), efectuarían dos trayectos distintos y describirían dos trayectorias diferentes, por la sola razón de que uno de ellos haya estado asociado a un navío, mientras que el otro no lo haya estado, significaba para un aristotélico —y Tycho en dinámica lo es— que el cuerpo en cuestión *se acordaba* de su asociación pasada con el navío, *sabía* dónde debía ir y estaba dotado de la capacidad necesaria para hacerlo. Lo que implicaba para él que el cuerpo en cuestión poseía un alma: e incluso un alma singularmente poderosa.

Además, desde el punto de vista de la dinámica aristotélica, tanto como desde el punto de vista de la dinámica del *impetus*, dos movimientos diferentes se entorpecen siempre mutuamente; y los defensores de una y otra concepción invocan como prueba el hecho conocidísimo de que el movimiento rápido de la bala (en su carrera horizontal) le impide bajar y le permite mantenerse en el aire mucho más tiempo de lo que hubiera podido hacerlo si se hubiera dejado caer simplemente [5]. En resumen, Tycho Brahe no admite la independencia mutua de los movimientos —nadie lo admitió antes de Galileo—; tiene, pues,

[5] Esa es una creencia general que comparten, en particular, los artilleros.

perfecta razón al no admitir los hechos y teorías que ésta implica.

La posición tomada por Kepler es particularmente interesante e importante. Nos muestra mejor que cualquier otra las raíces profundamente filosóficas de la revolución galileana. Desde el punto de vista puramente científico, Kepler —a quien debemos *inter alia* el término de *inercia*— es sin duda alguna uno de los más grandes, si no el más grande, genio de su tiempo; es inútil insistir en sus notables dotes matemáticas, que no son igualadas más que por la intrepidez de su pensamiento. El título mismo de una de sus obras, *Physica coelestis*[6], es un reto a sus contemporáneos, y, sin embargo, filosóficamente está mucho más cerca de Aristóteles y de la Edad Media que de Galileo y Descartes. Razona aún en términos de cosmos; para él el movimiento y el reposo se oponen todavía como la luz y las tinieblas, como el ser y la privación del ser. El término *inercia* significa para él, por consiguiente, la resistencia que los cuerpos oponen al movimiento, y no, como para Newton, al paso del estado de movimiento al de reposo, y del de reposo al de movimiento; por eso, lo mismo que Aristóteles y los físicos de la Edad Media, necesita una causa o fuerza para explicar el movimiento, y no la necesita para explicar el reposo; cree como ellos que los cuerpos en movimiento, separados del móvil o privados de la influencia de la propiedad o potencia motriz, no continuarán su movimiento, sino que, al contrario, se detendrán.

Por ello, para explicar el hecho de que, sobre la Tierra que se mueve, los cuerpos, aunque no estén unidos a ella por lazos materiales, no se quedan atrás, por lo menos de un modo *perceptible*, y de que las piedras, lanzadas al aire, vuelven a caer al lugar de donde han sido tiradas, de que las balas vuelan (o casi) tan lejos al oeste como al este, debe admitir —o deducir— una fuerza real que una estos cuerpos a la Tierra y los obligue a seguirla.

Kepler descubre esta fuerza en la atracción mutua de todos los cuerpos materiales, o por lo menos terrestres, lo que quiere decir, desde el punto de vista práctico, en la atracción de todas las cosas terrestres por la Tierra. Kepler piensa que todas estas cosas están ligadas a la Tierra por innumerables cadenas elásticas y es la tracción de estas cadenas lo que explica que nubes y vapores, piedras y balas, no permanezcan inmóviles en

[6] *Astronomia nova* ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ *seu Physica coelestis tradita comentaritis de motibus stellae Martis*, s. l., 1609.

el aire, sino que sigan a la Tierra en su movimiento; el hecho de que estas cadenas se encuentren por todas partes permite, según Kepler, arrojar una piedra o disparar una bala en dirección opuesta a la del movimiento de la Tierra: las cadenas de atracción arrojan la bala hacia el este tanto como hacia el oeste, y de este modo su influencia se equilibra, o casi. El movimiento real del cuerpo (la bala disparada verticalmente) es naturalmente una combinación o una mezcla: *a)* de su propio movimiento, y *b)* del de la Tierra. Pero como éste último es común, sólo cuenta el primero. Se deduce claramente (aunque Tycho Brahe no lo haya comprendido) que aunque la longitud del trayecto de una bala arrojada hacia el este y la de otra lanzada hacia el oeste sean diferentes cuando se miden en el espacio del universo, sin embargo, los trayectos de estas balas sobre la Tierra son parecidos o casi parecidos.

Lo que explica por qué la misma fuerza producida por la misma cantidad de pólvora puede proyectarlas casi a la misma distancia en direcciones opuestas [7].

De este modo, las objeciones aristotélicas y tychonianas contra el movimiento de la Tierra son desechadas y Kepler subraya que era un error asimilar la Tierra a un navío en movimiento: realmente la Tierra «atrae magnéticamente» los cuerpos que transporta, el barco no lo hace en absoluto. Por eso necesitamos un lazo material en el caso del navío, lo que es completamente inútil en el de la Tierra.

No nos detengamos más en este punto; vemos que el gran Kepler, el fundador de la astronomía moderna, el mismo hombre que proclamó la unidad de la materia en el universo y afirmó que *ubi materia, ibi geometria,* fracasó en el establecimiento de la base de la ciencia física moderna por una sola y única razón: creía que el movimiento era ontológicamente de un nivel de ser más elevado que el reposo.

Si ahora, después de este breve resumen histórico, nos volvemos hacia Galileo Galilei, no nos sorprenderemos al verle, también a él, discutir larga, muy largamente incluso, las objeciones tradicionales de los aristotélicos. Podremos además apreciar la habilidad consumada con la que en su *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* ordena sus argumentos y prepara el asalto definitivo contra el aristotelismo. Galileo no ig-

[7] Siendo el cuerpo *inerte* por naturaleza, es decir, oponiendo una resistencia al movimiento, Kepler concluye que los cuerpos separados de la Tierra quedarán un poco atrás. Tan poco, sin embargo, que no podremos darnos cuenta de ello.

nora la enorme dificultad de su empresa. Sabe muy bien que se encuentra frente a enemigos poderosos: la autoridad, la tradición y —el peor de todos— el sentido común. Es inútil alinear las pruebas ante espíritus incapaces de captar su alcance. Inútil, por ejemplo, explicar la diferencia entre la velocidad lineal y la velocidad de rotación (su confusión está en la base de las primeras objeciones aristotélicas y tolemaicas) a quienes no están acostumbrados a pensar matemáticamente. Hay que empezar por educarlos. Hay que proceder lentamente, paso a paso, discutir y volver a discutir los viejos y los nuevos argumentos, hay que presentarlos bajo formas variadas, hay que multiplicar los ejemplos, inventar otros nuevos más contundentes: el ejemplo del caballero que lanza su jabalina al aire y la vuelve a coger de nuevo; el ejemplo del tirador que tensa su arco más o menos fuertemente y que da así a la flecha una *velocidad* más o menos grande; el ejemplo del arco colocado en un coche en movimiento que puede compensar así la mayor o menor *velocidad* del coche por la *velocidad* mayor o menor dada a las flechas. Ejemplos, innumerables, que uno tras otro nos conducen —o mejor dicho, conducían a los contemporáneos de Galileo— a aceptar esta concepción paradójica e inaudita, según la cual el movimiento es algo que persiste en el ser *in se* y *per se* y no exige ninguna causa o fuerza para esta persistencia. Una labor muy dura, pues no es natural concebir el movimiento en términos de velocidad y dirección y no en términos de esfuerzo *(impetus)* y desplazamiento.

Pero, realmente, no podemos *pensar* en el movimiento en el sentido de esfuerzo e *impetus;* podemos sólo *imaginarlo.* No debemos, pues, elegir entre pensar e imaginar. Pensar con Galileo o imaginar con el sentido común. Pues es el pensamiento, el pensamiento puro y sin mezcla, y no la experiencia y la percepción de los sentidos, lo que está en la base de la «nueva ciencia» de Galileo Galilei.

Galileo lo dice muy claramente. Así, al discutir el famoso ejemplo de la bola que cae de lo alto del mástil del navío en movimiento, Galileo explica largamente el principio de la relatividad física del movimiento, la diferencia entre el movimiento del cuerpo con relación a la Tierra y su movimiento con relación al navío; después, *sin hacer ninguna mención de la experiencia,* concluye que el movimiento de la bola con relación al navío no cambia con el movimiento de este último. Además, cuando su adversario aristotélico, imbuido de espíritu empirista, le plantea la pregunta: «¿Ha hecho usted el experimento?», Galileo declara con orgullo: «No, y no necesito hacerlo, y pue-

do afirmar sin ningún experimento que es así, pues no puede ser de otro modo»[8].

Así, *necesse* determina el *esse*. La buena física se hace *a priori*. La teoría precede al hecho. La experiencia es inútil, porque antes de toda experiencia poseemos ya el conocimiento que buscamos. Las leyes fundamentales del movimiento (y del reposo), leyes que determinan el comportamiento espacio-temporal de los cuerpos materiales, son leyes de naturaleza matemática. De la misma naturaleza que las que gobiernan las relaciones y leyes de las figuras y los números. Las encontramos y descubrimos no en la naturaleza, sino en nosotros mismos, en nuestra inteligencia, en nuestra memoria, como Platón nos lo ha enseñado otras veces.

Y *por esto*, como proclama Galileo ante la gran consternación de su interlocutor aristotélico, es por lo que somos capaces de dar pruebas pura y estrictamente matemáticas de las proposiciones que describen los «síntomas» del movimiento y desarrollar el lenguaje de la ciencia natural, interrogar a la naturaleza mediante experimentos construidos de modo matemático y leer en el gran libro de la naturaleza, que está escrito en «caracteres geométricos»[9].

El libro de la naturaleza está escrito en caracteres geométricos; la física nueva, la de Galileo, es una geometría del movimiento, del mismo modo que la física de su verdadero maestro, el *divus Archimedes*, era una física del reposo. La geometría del movimiento *a priori*, la ciencia matemática de la naturaleza... ¿cómo es posible? ¿Fueron por fin refutadas por Platón las viejas objeciones aristotélicas contra la matematización de la naturaleza? No del todo. Ciertamente no hay cualidad en el reino de los números, y es por lo que Galileo —igual que Descartes— se ve obligado a renunciar a ella, a renunciar al mundo cualitativo de la percepción sensible y de la experiencia cotidiana y a sustituirlo por el mundo abstracto e incoloro de Arquímedes. En cuanto al movimiento, ciertamente no lo hay

[8] En realidad este experimento, constantemente invocado en las discusiones entre partidarios y adversarios de Copérnico, no se hizo nunca. Más exactamente, sólo lo hizo Gassendi en Marsella en 1642, y quizás también Thomas Digges unos sesenta y seis años antes.

[9] Un experimento es una pregunta que planteamos a la naturaleza y que debe ser formulada en un lenguaje apropiado. La revolución galileana puede ser resumida en el hecho del descubrimiento de este lenguaje, del descubrimiento de que las matemáticas son la gramática de la ciencia física. Este descubrimiento de la estructura racional de la naturaleza ha formado la base *a priori* de la ciencia *experimental* moderna y ha hecho posible su constitución.

en los números. Y sin embargo el movimiento —por lo menos el movimiento de los cuerpos arquimedianos en el espacio infinito y homogéneo de la ciencia nueva— está regido por los números. Por las *leges et rationes numerorum.*

El movimiento está subordinado a los números; incluso el más grande de los antiguos platónicos, Arquímedes el superhombre, lo ignoraba, y fue a Galileo Galilei, «este maravilloso investigador de la naturaleza», como le había denominado su alumno y amigo Cavalieri, a quien le correspondió descubrirlo.

El platonismo de Galileo Galilei es muy diferente del de la Academia florentina, lo mismo que su filosofía matemática de la naturaleza difiere de su aritmología neopitagórica. Pero hay más de una escuela platónica en la historia de la filosofía y el problema de saber si las tendencias e ideas representadas por Jámblico y Proclo son más o menos platónicas que las representadas por Arquímedes no está aún resuelto.

Sea como sea, no voy a examinar aquí este problema. Sin embargo, debo indicar que para los contemporáneos y alumnos de Galileo, tanto como para el propio Galileo, la línea de separación entre el platonismo y el aristotelismo es perfectamente clara. Creían efectivamente que la oposición entre estas dos filosofías estaba determinada por puntos de vista diferentes sobre las matemáticas en tanto que ciencia y sobre su papel en la creación de la ciencia de la naturaleza.

Según ellos, si se consideran las matemáticas como una ciencia auxiliar que se ocupa de abstracciones, y por esto tiene menos valor que las ciencias que tratan de cosas reales, como la física; si se afirma que la física puede y debe basarse directamente en la experiencia y la percepción sensible, se es aristotélico. Si, por el contrario, se quiere atribuir a las matemáticas un valor supremo y una posición clave en el estudio de las cosas de la naturaleza, entonces se es platónico.

En consecuencia, para los contemporáneos y alumnos de Galileo, como para el mismo Galileo, la ciencia galileana, la filosofía galileana de la naturaleza, aparecía como una vuelta a Platón, como una victoria de Platón sobre Aristóteles.

Debo confesar que esta interpretación parece ser perfectamente razonable.

GALILEO Y EL EXPERIMENTO DE PISA: A PROPÓSITO DE UNA LEYENDA *

Los experimentos de Pisa son muy conocidos. Desde que Viviani nos contó su historia, ésta fue recogida y repetida —más o menos fielmente— por todos o casi todos los historiadores y biógrafos de Galileo. Por ello su nombre está para el actual hombre de la calle indisolublemente asociado a la imagen de la torre inclinada [1].

Los historiadores de Galileo —y los historiadores de la ciencia en general— atribuyen a los experimentos de Pisa una gran importancia; ven en ellos normalmente un momento decisivo de la vida de Galileo: el momento en que se pronuncia *abiertamente* contra el aristotelismo y comienza su ataque *público* a la escolástica; ven igualmente un momento decisivo de la historia del pensamiento científico: aquél en el que, gracias justamente a sus experimentos sobre la caída de los cuerpos efectuados desde lo alto de la torre inclinada, Galileo asesta un golpe mortal a la física aristotélica y sienta los fundamentos de la dinámica nueva.

Presentemos algunos ejemplos que tomaremos de los más recientes estudios. Citemos primero a un historiador italiano, Angelo de Gubernatis. De Gubernatis [2] nos dice que

> es en Pisa donde Galileo debía empezar su campaña científica contra Aristóteles, con gran indignación por parte de sus colegas de la Universidad, especialmente porque, como cuenta Nessi (Nessi, *Vita e commercio letterario di G. Galilei*, Losanna, 1793), decidió hacer públicamente experimentos sobre la caída de los cuerpos y la

* Artículo extraído de los *Annales de l'Université de Paris*, París, 1937, pp. 442-453.

[1] La historia del «experimento de Pisa» es, en efecto, del dominio público; por eso se encuentra en los manuales y las guías. Así, A. Cuvillier, *Manuel de philosophie*, t. II, p. 128, París, 1932.

[2] Angelo de Gubernatis, *Galileo Galilei*, Florencia, 1909, p. 9.

bajada de los graves, que repitió varias veces en presencia de profesores y estudiantes pisanos en el campanario de Pisa.

Es poco más o menos la misma concepción que encontramos en un historiador inglés, J. J. Fahie. Este, al exponer la obra del joven Galileo en la Universidad de Pisa, escribe[3]:

Debemos decir aquí algo referente a sus famosos experimentos sobre la caída de los cuerpos, ya que están estrechamente asociados a la torre inclinada de Pisa, uno de los más curiosos monumentos de Italia. Dos mil años antes aproximadamente, Aristóteles había afirmado que si dos pesos diferentes de la misma materia caían de la misma altura, el más pesado llegaría a la tierra antes que el más ligero, y esto en proporción a sus pesos. El experimento no es ciertamente difícil; nadie, sin embargo, tuvo la idea de argumentar así, y en consecuencia, esta aserción fue acogida entre los axiomas de la ciencia del movimiento, en virtud del *ipse dixit* de Aristóteles. Galileo, sin embargo, sustituía ahora la autoridad de Aristóteles por la de sus propios sentidos y pretendía que, salvo una diferencia insignificante, debida a la desproporción de la resistencia del aire, caerían al mismo tiempo. Los aristotélicos ridiculizaron esta idea, y se negaron a escucharle. Pero Galileo no se dejó intimidar y decidió forzar a sus adversarios a ver el hecho como él mismo lo veía. Así, una mañana, delante de la universidad reunida —profesores y estudiantes— subió a la torre inclinada llevando consigo una bola de diez libras y otra de una. Las colocó en el reborde de la torre y las dejó caer juntas. Juntas cayeron y juntas chocaron contra el suelo.

En un artículo publicado dieciocho años más tarde y consagrado a *La obra científica de Galileo*[4], J. J. Fahie reproducía su relato casi textualmente. Añadía, sin embargo, una explicación más detallada de la importancia del experimento galileano, para el propio Galileo y para la ciencia en general. Para el propio Galileo: después del éxito deslumbrante de su experimento, Galileo «despreció la resistencia del aire, anunció con osadía que todos los cuerpos caen al mismo tiempo desde la misma altura»... Para la historia de la ciencia en general: «Aunque Galileo... no fue en modo alguno el primero en dudar de la autoridad de Aristóteles, fue indiscutiblemente el primero cuya duda produjo un efecto profundo y durable en los ánimos. La razón no es difícil de encontrar. Galileo vino en un buen momento,

[3] J. J. Fahie, *Galileo, his life and work*, Londres, 1903, pp. 24 ss.
[4] J. J. Fahie, «The scientific work of Galileo», en *Studies in the history and method of science*, compilado por Charles Singer, vol. II, Oxford 1921, p. 215.

pero, ante todo, vino armado con un arma nueva: el experimento» [5]. Finalmente, un historiador recentísimo, E. Namer, nos da de los experimentos de Pisa un relato magnífico, brillante y vivo [6] «Con increíble osadía, Galileo enviaba a Aristóteles a los polvorientos estantes de las bibliotecas. Proponía abrir el gran libro de la naturaleza y leer sus leyes con mirada fresca...» Después de haber expuesto los ataques de Galileo contra Aristóteles y sus nuevas doctrinas *fundadas en la experiencia* (péndulo, plano inclinado, etc.), Namer continúa:

Cuando Galileo supo que todos los otros profesores expresaban dudas referentes a las conclusiones del insolente innovador, aceptó el reto. Solemnemente invitó a estos graves doctores y a todo el cuerpo de estudiantes, en otros términos, a la Universidad entera, a asistir a uno de sus experimentos. Pero no en su marco habitual. No, éste no era suficientemente grande para él. Fuera, bajo el cielo abierto, en la ancha plaza de la catedral. Y la cátedra indicada claramente para estos experimentos era el Campanile, la famosa torre inclinada.

Los profesores de Pisa, como los de otras ciudades, habían sostenido siempre, conforme a la enseñanza de Aristóteles, que la velocidad de la caída de un objeto dado era proporcional a su peso.

Por ejemplo, una bola de hierro que pese cien libras y otra que sólo pese una, lanzadas en el mismo momento, desde una misma altura, deben evidentemente tocar tierra en momentos diferentes y con toda seguridad la que pesa cien libras tocará tierra la primera, puesto que justamente es más pesada que la otra.

Galileo, al contrario, pretendía que el peso no tenía nada que ver y que las dos tocarían tierra en el mismo momento.

Escuchar semejantes aserciones hechas en el corazón de una ciudad tan vieja y tan sabia era intolerable; y se pensó que era necesario y urgente afrentar públicamente a este joven profesor que tenía una opinión tan elevada de sí mismo y darle una lección de modestia de la que se acordase hasta el final de su vida.

Doctores con largos trajes de terciopelo y magistrados que parecían querer ir a una especie de feria de pueblo abandonaron sus diversas ocupaciones y se mezclaron con los representantes de la Facultad dispuestos a burlarse del espectáculo fuera cual fuera el final.

Lo más extraño quizás de toda esta historia es que no se le ocurrió a nadie hacer el experimento por sí mismo antes de llegar a la plaza. Atreverse a poner en duda algo que Aristóteles había dicho, era nada menos que una *herejía* a los ojos de los estudiantes

[5] *Ibid.*, p. 216, § 8, *Public experiments of falling bodies.*

[6] Emile Namer, *Galileo, searcher of the Heavens,* Nueva York, 1931, pp. 28-29.

de esta época. Era un insulto a sus maestros y a ellos mismos, una desgracia que podría excluirlos de las filas de la *élite*. Es indispensable tener presente constantemente esta actitud para apreciar claramente el genio de Galileo, su libertad de pensamiento y su valor, y estimar en su justo mérito el sueño profundo del que la conciencia humana debía despertarse. ¡Qué esfuerzo, qué luchas eran necesarias para dar nacimiento a una ciencia exacta!

Galileo subió las escaleras de la torre inclinada, con calma y tranquilidad a pesar de las risas y gritos de la multitud. Comprendía bien la importancia del momento. En lo alto de la torre, formuló una vez más el problema en toda su exactitud. Si los cuerpos al caer llegaban a tierra al mismo tiempo, había conseguido la victoria, pero si llegaban en momentos diferentes, serían sus adversarios quienes tendrían razón.

Todo el mundo aceptó los términos del debate. Gritaban: «Haced la prueba.»

Había llegado el momento. Galileo lanzó las dos bolas de hierro. Todos los ojos miraban arriba.

Un silencio. Y se vio salir juntas las dos bolas, caer juntas y juntas tocar tierra junto a la torre.

Habríamos podido multiplicar a voluntad estas citas y estos ejemplos. No hemos creído que debiéramos hacerlo. ¿Para qué, efectivamente, sobrecargar inútilmente nuestra exposición?[7]. Inútilmente, pues en todas partes habríamos encontrado los mismos elementos del relato: ataque *público* al aristotelismo, experimento *público* realizado en lo alto de la torre inclinada, éxito del experimento expresado en la caída *simultánea* de los dos cuerpos, consternación de los adversarios que, sin embargo, a pesar de la evidencia, persisten en sus creencias tradicionales; y todo ello «enmarcado», o si se prefiere, engalanado según la fantasía del autor por rasgos más o menos logrados. Efectivamente, todos estos rasgos que dramatizan tanto el relato de Fahie como el de Namer, son pura y simplemente inventados por ellos, puesto que la única fuente auténtica de la que disponemos, el *Racconto istorico* de Vincenzo Viviani, no contiene una palabra de esto.

En cuanto a los momentos o elementos comunes que acabamos de apuntar, están todos directa o indirectamente fundados en el relato de Viviani.

Ahora bien, como lo ha expuesto ya Wohlwill (y nosotros vamos a añadir a los argumentos de Wohlwill —que nos parecen completamente suficientes— otros que nos parecen decisi-

[7] Mencionemos, sin embargo, a L. Olschki, *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927.

vos), el relato de Viviani sobre el experimento de Pisa no está fundado en nada. *Los experimentos de Pisa son un mito.*

He aquí, además, el texto de Viviani[8]:

En esta época (1589-1590) se convenció de que la investigación de los efectos de la naturaleza exige necesariamente un verdadero conocimiento de la naturaleza del movimiento, conforme al axioma a la vez filosófico y vulgar *ignorato motu ignoratur natura;* fue entonces cuando, ante la gran indignación de todos los filósofos, demostró —con la ayuda de experimentos, pruebas y razonamientos exactos— la falsedad de numerosas conclusiones de Aristóteles sobre la naturaleza del movimiento; conclusiones que hasta entonces eran tenidas por claras e indudables. Así, entre otras, la de que las velocidades de móviles de la misma materia, pero de pesos diferentes y que se mueven a través del mismo medio, no siguen en modo alguno la proporción de su gravedad, tal como dice Aristóteles, sino que se mueven todos con la misma velocidad. *Lo que demostró por repetidos experimentos hechos desde lo alto del campanario de Pisa en presencia de todos los demás profesores y filósofos y de toda la Universidad.*

[Demostró también] que las velocidades de un mismo móvil que cae a través de diferentes medios no siguen tampoco la proporción inversa de la densidad de estos medios, infiriendo esto a partir de consecuencias manifiestamente absurdas y contrarias a la experiencia sensible.

Es superfluo insistir en la expansión sufrida por el texto, muy sobrio y breve, de Viviani, bajo la pluma de sus sucesores. Sería cruel insistir en sus errores, en sus incomprensiones[9]. La simple confrontación basta. Los historiadores de Galileo han adornado y «desarrollado» el relato de Viviani. Nadie —excepto Wohlwill— lo ha puesto en duda[10]. Y sin embargo... un poco de reflexión y sentido común, un poco de saber histórico, un

[8] Vincenzo Viviani, *Racconto istorico della vita di Galilei* (*Opere*, Ed. Naz., vol. XIX, p. 606).

[9] Así, nadie parece haber comprendido la importancia del hecho de que se trataba de graves de la *misma materia*. Ahora bien, ése es el punto capital: efectivamente en Pisa, el joven Galileo creía aún —como Benedetti— que los graves de materia y peso específico diferentes caían con una velocidad *diferente*. ¡Y tenía razón!

[10] V. E. Wohlwill, «Die Pisaner Fallversuche», *Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften*, vol. IV, pp. 229 ss., *Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre*, vol. II. Hamburgo, 1926, pp. 260 ss. Las obras que hemos citado anteriormente son todas posteriores al artículo de Wohlwill.

poco de conocimientos físicos, habrían bastado para reconocer su inverosimilitud. E incluso su imposibilidad. Efectivamente, tal como ya ha puesto de manifiesto Wohlwill, hay que ser verdaderamente demasiado ingenuo o demasiado ignorante de las costumbres y los usos de las Universidades y de los universitarios para admitir que la asamblea de los profesores, seguida por el conjunto de los estudiantes, pudiera presentarse *in corpore* en una plaza pública, con el solo fin de asistir a un experimento ridículo al que le hubiera convocado el último de los maestros auxiliares —el más joven, el de menor categoría y el peor pagado— de la última de sus facultades. Y por otro lado, para indignar y consternar a «todos los filósofos» no bastaba poner en duda la enseñanza de Aristóteles. Desde hacía cien años efectivamente sólo se hacía eso. Además los argumentos y razonamientos [11] a los que Viviani hace alusión y con cuya ayuda Galileo había refutado las «conclusiones» de Aristóteles, no eran completamente inauditos; habían sido presentados y desarrollados desde hacía tiempo por Benedetti [12]; y en la época misma del profesorado de Galileo en Pisa, un «filósofo», Jacobo Mazzoni, los exponía tranquilamente, sin provocar ni asombro ni tumulto [13]. Más aún, otro «filósofo», Buonamici [14], buen aristotélico de estricta observancia, no se sentía en absoluto incómodo al presentar a sus oyentes —sin duda las refutaba en seguida— todas las objeciones que los siglos, y sobre todo los nominalistas parisienses, habían inventado contra la doctrina del Estagirita.

En fin, ¿cómo es posible que este experimento tan importante, tan decisivo, montado con tanta publicidad, lo conozcamos *únicamente* por el relato que hizo de él sesenta años más tarde Viviani? ¿Cómo es posible que de este resonante suceso nadie diga ni una palabra? Ni los amigos de Galileo, ni siquiera sus

[11] Vincenzo Viviani hace alusión a las tesis sostenidas por Galileo en sus ensayos sobre el movimiento —*De motu*— escritos en Pisa y publicados en el volumen I de sus obras. Sobre estos bosquejos, véase P. Duhem, «De l'accélération produite par une force constante», en *IIe Congres international de Philosophie,* Ginebra, 1905, pp. 807 ss.; E. Wohlwill, *Galilei,* etc., vol. I, pp. 90-95, y nuestro estudio, «A l'aurore de la science moderne», *Annales de l'Université de Paris,* 1935, 5, y 1936, 1.

[12] Véase J.-B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber,* Taurini, 1585. Cf. las obras citadas *supra* y P. Duhem, *Études sur Léonard de Vinci,* vol. III, París, 1919, pp. 214 ss.

[13] J. Mazzoni, *In universam Platonis et Aristotelis philosophiam praeludia,* Venecia, 1597, pp. 192 ss.

[14] F. Bonamici, *De motu,* Florencia, 1597, libro IV, cap. XXXVIII, pp. 412 ss.

adversarios, hablan jamás de ello. Como tampoco el propio Galileo. Ahora bien, nada más inverosímil que semejante silencio. Tendríamos que admitir que Galileo, que no se ha privado de contarnos y presentarnos como *realizados efectivamente* experimentos [15] que se había limitado a *imaginar*, nos oculta cuidadosamente un experimento glorioso efectivamente realizado. Es tan improbable que no se puede admitir seriamente. La única explicación posible de este silencio, es la siguiente: si Galileo no habla nunca del experimento de Pisa, es porque no lo realizó. Por fortuna para él, además. Pues si lo hubiera hecho, lanzando el reto que por él formulan sus historiadores, sólo habría servido para confundirle.

Efectivamente, ¿qué habría ocurrido si, como desde Viviani nos repiten los historiadores de Galileo, hubiera dejado realmente caer desde lo alto de la torre inclinada las dos bolas de 10 y 1 (o de 100 y 1) libras? Es curioso que ninguno de los historiadores —que sepamos por lo menos—, ni siquiera Wohlwill, se haya planteado nunca este problema. Se comprende: los historiadores *creían* en el experimento, aceptaban completamente el relato de Viviani en su conjunto. Los hombres del siglo XVII eran más incrédulos. Quizás tenían otras cualidades. Fuera como fuera, si Galileo no hizo el experimento de Pisa, otros lo hicieron. Con resultados que si se hubieran sabido, habrían asombrado muchísimo a los historiadores.

No era necesario esperar la publicación del *Racconto istorico* de Viviani para saber que los cuerpos «caían todos con la misma velocidad». El propio Galileo ¿no había escrito en su célebre *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* que «bolas de 1, 10, 100 y 1.000 libras atravesarán (en caída libre) el mismo espacio de 100 varas al mismo tiempo»? [16] Y no faltó gente que tomara al pie de la letra esta aserción.

Como Baliani, que en un pequeño opúsculo, *De motu gravium*, aparecido en 1639, expone largamente que esto lo sabía

[15] Sobre el carácter de los experimentos de Galileo, véase P. Tannery, «Galilée et les principes de la dynamique» (*Mémoires scientifiques*, vol. VI pp. 395 ss.) y ya Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Florencia, 1895, pp. 290, 350 y E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 1921, pp. 125 ss.

[16] G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (*Opere*, vol. VII, p. 222). Galileo afirma haber hecho el experimento. Sin embargo, es difícil imaginarlo llevando a lo alto de una torre una bola de 1.000 (!) e incluso de 100 libras.

mucho antes que Galileo (Baliani no pierde nunca una ocasión de reivindicar una prioridad incontrolable) y que ya en 1611, en Rocca di Savona, hizo experimentos dejando caer esferas de peso e incluso de materias diferentes (de cera y de plomo) que cayeron todas con la misma velocidad, tocando tierra «en el mismo indivisible instante» [17]. Como también el jesuita Nicolás Cabeo.

Fueron justamente estas aserciones de Cabeo de que «todos los cuerpos caen con la misma velocidad» las que provocaron en Vincenzo Renieri, profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa, el deseo de proceder a un control. Y de hacerlo utilizando la torre inclinada, que se prestaba tan bien al experimento.

> Tuvimos ocasión, escribe a su maestro Galileo [18], de hacer un experimento con dos graves de materias diferentes, que caían desde una misma altura; uno de madera y el otro de plomo, pero de tamaño parecido; porque un cierto jesuita ha escrito que caen en el mismo tiempo y llegan a tierra con la misma velocidad, y porque un cierto inglés ha afirmado que Liceti ha compuesto a propósito un problema que lo explica. Pero, finalmente, nosotros hemos encontrado que esto no era así; efectivamente, de lo alto del campanario de la catedral [a la tierra] hubo entre la bola de plomo y la de madera casi tres varas de diferencia. Se hizo también el experimento con dos bolas de plomo, una del tamaño de las bolas ordinarias de artillería, la otra del de una bala de mosquete, y se vio que cuando la más gorda y la más pequeña caen desde la altura de este mismo campanario, la mayor precede a la pequeña con mucho.

Nicolás Cabeo no se dejó persuadir, sin embargo. En 1646 publicó en Roma un comentario de los *Metereológica* de Aristóteles donde reafirmó resueltamente que los graves de pesos diferentes —pero de la misma materia— caían con la misma velocidad y llegaban a la tierra al mismo tiempo. Lo que, dice, estableció por numerosos y frecuentes experimentos [19]. En cuan-

[17] Giovanni Battista Baliani, *De motu gravium,* Génova, 1639, prefacio. Baliani da una explicación que no está desprovista de interés. Admitiendo probablemente, después de Kepler, una resistencia interna de la materia al movimiento, escribe: «Gravia moveri iuxta proportionem gravitatis ad materiam, et ubi sine impedimento naturaliter perpendiculari motu ferantur, moveri aequaliter, quia ubi plus est gravitatis, plus pariter sit materiae.»

[18] Vincenzo Renieri, *Carta a Galileo,* 13 de marzo de 1641 *(Opere,* volumen XVIII, p. 305).

[19] Niccolo Cabeo, *In libros meteorologicos Aristotelis,* Roma, 1646, volumen I, p. 97.

to a las objeciones de sus adversarios que atribuían un poder de retardación al aire, Cabeo estima que no comprenden lo que dicen: el aire no tiene nada que ver ni a favor ni en contra de la velocidad[20]. Semejantes aserciones no podían pasar sin respuesta: el colega de Cabeo, el jesuita Gianbattista Riccioli fue quien se encargó de ello.

En su *Almagestum novum*[21], después de haber expuesto ampliamente lo difícil que era proceder a un experimento concluyente acerca de una materia tan delicada como la caída rápida de un grave[22], Riccioli relata los experimentos efectuados en Bolonia, en la torre de los Asinelli. Esta torre, inclinada como la de Pisa, se prestaba en efecto particularmente para estos experimentos. Se diría, añade el sabio jesuita, que se había hecho especialmente para ellos. En cuatro ocasiones, en mayo de 1640, en agosto de 1645, en octubre de 1648 y finalmente en enero de 1650, se puso en práctica el experimento, rodeándose de todas las precauciones requeridas. Y se descubrió que dos globos de arcilla, de la misma dimensión, de los cuales uno, hueco, sólo pesaba diez onzas, mientras que el otro, lleno, pesaba veinte, que salían en el mismo momento de lo alto de la torre, llegaban al suelo en momentos diferentes. Y que, en particular, el más ligero se quedaba quince pies atrás[23].

Galileo, además, no tenía ninguna necesidad de esperar los resultados de los experimentos de Renieri y de Riccioli para saber que dos cuerpos «de la misma materia pero de dimensiones distintas», al caer de lo alto de una torre y «salir juntos» no podrían nunca moverse «juntos» y nunca podrían tocar «juntos» el suelo. Estos resultados los habría podido prever. Los había incluso efectivamente previsto.

[20] *Ibid.*, p. 68: *aerem nihil efficere in isto motu nec pro nec contra velocitatem.* Cabeo no podía visiblemente comprender cómo la gente que rechazaba como absurda la explicación de la aceleración por la reacción del aire, podía llegar a invocar a su vez una influencia del aire en la velocidad de la caída.

[21] Sobre Riccioli y sus experimentos, véase Caverni, *Storia,* etc., vol. IV, pp. 282, 312, 390 y *passim.*

[22] Riccioli explica que es casi imposible medir directamente diferencias de tiempo tan pequeñas y supone que Cabeo había observado caídas demasiado cortas para poder notar cualquier cosa. Véase *Almagestum novum,* Bolonia, 1651, vol. II, p. 392.

[23] Véase Giovanni Battista Riccioli, *Almagestum novum,* Bolonia, 1651, vol. II, p. 387.

La afirmación de que «todos los cuerpos caían con una velocidad igual», afirmación que no habían comprendido ni Baliani ni Cabeo ni Renieri —ni otros— valía según él para el caso *abstracto y fundamental* del movimiento *en el vacío*[24]. Para el movimiento en el aire, es decir, en el lleno, para el movimiento que no podía, pues, ser considerado como absolutamente libre de todos los *impedimenta*, dado que tenía que superar la resistencia del aire —pequeña pero en modo alguno desdeñable— ya era otra cosa. Galileo explicó esto con toda la claridad deseable. Un largo desarrollo de los *Discorsi* que Renieri no había leído —o no había comprendido—[25] está precisamente dedicado a esta cuestión. Por ello, en respuesta a la carta de éste anunciándole los resultados de sus experimentos, Galileo se limita a remitirle a su gran obra en la que había demostrado que no podía ser de otro modo.

Ahora bien, Galileo no necesitaba tampoco esperar la elaboración de los *Discorsi* para saber que la resistencia del aire, siendo, *grosso modo*, proporcional a la superficie (en el caso de una bola, al cuadrado de su radio) y el peso a la masa (por lo tanto a su cubo), sería para una bala de mosquete relativamente mayor que para una bala de cañón. Lo sabía ya en la época en que inició sus trabajos en Pisa. No es en modo alguno de extrañar: Benedetti lo había explicado efectivamente mucho antes que él.

Por eso, si podía —y debía— contar con que los cuerpos más y menos pesados caen con velocidades completamente distintas a las proporcionales a sus pesos, como hubiera debido ser según Aristóteles, si debía prever que el cuerpo menos pesado (la bala de mosquete) cae mucho más rápidamente de lo que habría debido hacerlo, había algo que *no podía admitir;* este algo era su caída simultánea.

Y es ésta la última razón por la que Galileo no hizo el experimento de Pisa, ni siquiera lo imaginó.

Tal es la conclusión de nuestra pequeña investigación. En cuanto a su moraleja, ¿se nos permitirá dejar a los lectores la preocupación de sacarla ellos mismos?

[24] Otros lo habían comprendido. Así si Johannes Marcius, *De proportione motus*, Praga, 1639, escribe: «Motum quatenus a gravitate procedit euisdem speciei seu gradus, eadem celeritate ferri in omnibus, quantumvis mole, figura, pondera a se differant», sabe que esto no vale más que para el movimiento supuestamente libre de todo *impedimentum*, es decir, para el movimiento en el vacío.

[25] Véase Renieri, *Carta a Galileo*, del 20 de marzo de 1641 *(Opere*, volumen XVIII, p. 310).

EL *DE MOTU GRAVIUM* DE GALILEO: DEL EXPERIMENTO IMAGINARIO Y DE SU ABUSO *

La ley de la caída de los cuerpos que ha acabado con la física aristotélica comporta dos aserciones que, aunque estrechamente ligadas en el espíritu de Galileo, no son menos independientes una de otra y deben, por esto, ser cuidadosamente distinguidas.

La primera concierne a la estructura matemática y dinámica del movimiento de la caída. Afirma que este movimiento obedece a la ley del número y que los espacios atravesados en intervalos sucesivos (e iguales) de tiempo son *ut numeri impares ab unitate* [1]; en otros términos, que una fuerza constante, contrariamente a lo que había enseñado Aristóteles, determina no un movimiento uniforme, sino un *movimiento* uniformemente acelerado [2], es decir, que la acción de la fuerza motriz produce no una velocidad, sino una aceleración.

La segunda añade, igualmente, al contrario que Aristóteles, que en su movimiento de caída todos los cuerpos, grandes y pequeños, pesados y ligeros, es decir, cualesquiera que sean sus dimensiones y sus naturalezas, caen, en principio, si no realmente [3], con la misma velocidad; en otros tér-

* Artículo extraído de la *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications,* París, Presses Universitaires de France, t. XIII, 1960, pp. 197 a 245.

[1] En el movimiento de la caída, las velocidades crecen proporcionalmente al tiempo, es decir, como los números; los espacios recorridos en los intervalos sucesivos, como los números impares; y los espacios recorridos desde el principio de la caída, como los cuadrados.

[2] En *último término,* la ley de la caída de los cuerpos implica la de inercia, es decir, la de la conservación del movimiento. Para Aristóteles, como sabemos bien, tal conservación es imposible: el movimiento implica la acción de una fuerza motriz, de un motor ligado al móvil: separado del primero, el segundo se detiene.

[3] Considerando la resistencia del aire, la igualdad de la velocidad de la caída de los cuerpos graves y ligeros no podría tener lugar más que en el vacío.

minos, que la aceleración de la caída es una constante universal[4].

Se ha hecho muchas veces el estudio histórico de la primera de estas dos aserciones [5]; el de la segunda ha sido, al contrario, un poco olvidado por los historiadores[6]. Sin embargo, es bastante interesante, aunque sólo sea porque, por un lado, nos ofrece un ejemplo notorio del uso —y del abuso— hecho por Galileo del método del experimento imaginario; y porque, por otro lado, nos permite precisar un poco las relaciones del pensamiento galileano con el de sus inmediatos, y más lejanos predecesores.

Los experimentos imaginarios que Mach llamó «experimentos de pensamiento» *(Gedankenexperimente)*, y sobre los que Popper acaba de volver a llamar nuestra atención, han desempeñado un papel muy importante en la historia del pensamiento científico[7]. Lo que se comprende fácilmente: los experimentos reales son a menudo muy difíciles de realizar, implican, la mayor parte de las veces, un equipo complejo y costoso. Además comportan, necesariamente, un cierto grado de imprecisión, y por lo tanto de incertidumbre. Efectivamente es imposible producir una superficie plana que sea «verdaderamente» plana; o realizar una superficie esférica que lo sea «realmente». No hay, ni puede haber, *in rerum natura*, cuerpos perfectamente rígidos; como tampoco cuerpos perfectamente elásticos; no se puede realizar una medición perfectamente exacta. La perfección no es de este mundo; sin duda podemos acercarnos a ella, pero no podemos alcanzarla. Entre el dato empírico y el objeto teórico, queda siempre una distancia imposible de salvar.

Es entonces cuando la imaginación entra en escena. Alegremente suprime la separación. No se preocupa por las limitaciones que nos impone lo real. «Realiza» lo ideal e incluso lo imposible. Opera con objetos teóricamente perfectos y son

[4] Para nosotros —como ya para Kepler—, que reducimos la gravedad a la atracción terrestre, esta «constante» varía con el alejamiento del grave del centro de la Tierra. Para Galileo, que no admite la atracción, la constante de aceleración tiene un valor universal. Esta constante está, además, implicada en la propia deducción por Galileo de la ley de la caída.

[5] En último lugar por mí mismo; cf. *Études galiléennes*, II, *La loi de la chute des corps*, París, Hermann, 1939.

[6] Se limitan, la mayor parte de las veces, a invocar «el experimento de Pisa» que Galileo no hizo nunca y del que jamás habla; cf. mi «Galilée et l'experience de Pise» *(Annales de l'Université de Paris*, 1937, *supra* pp. 196-205); Lane Cooper, *Aristotle and the tower of Pisa*, Ithaca, Nueva York, 1935.

[7] Cf. K. Popper, *The logic of scientific discovery*, ap. XI, pp. 442 ss., Nueva York, 1959.

estos objetos los que el experimento imaginario pone en juego [8]. De este modo, hace rodar esferas perfectas en planos perfectamente lisos y perfectamente duros; suspende pesos de palancas perfectamente rígidas que no pesan nada; hace emanar la luz de fuentes puntiformes; envía a los cuerpos a moverse eternamente en el espacio infinito; baliza con relojes sincrónicos sistemas de referencias galileanos en movimiento de inercia y lanza fotones uno a uno sobre una pantalla horadada por una o dos aberturas. Al hacer esto, obtiene resultados de una precisión perfecta —lo que por lo demás no les impide a veces ser falsos, por lo menos en relación a la *rerum natura*— y por esto, sin duda, son tan a menudo experimentos imaginarios los que sustentan las leyes fundamentales de los grandes sistemas de filosofía natural, como los de Descartes, Newton, Einstein... y también el de Galileo.

Volvamos, pues, a Galileo y especialmente al primer libro de los *Discursos y demostraciones matemáticas*, que como el *Diálogo sobre los sistemas del mundo*, es una amigable conversación entre tres personajes simbólicos: Salviati, representante de la ciencia nueva, portavoz de Galileo; Sagredo, la *bona mens*, espíritu abierto y libre de prejuicios escolares que por esto es capaz de comprender y recibir la enseñanza de Salviati, y Simplicio, defensor de la tradición universitaria dominada por la autoridad de Aristóteles, cuyas posiciones [9] defiende sin demasiado ardor, por otra parte.

Después de haber discutido de unas y otras cosas [10], se llega a hablar de la caída de los graves. Para demostrar la falsedad de la aserción aristotélica según la cual las velocidades de los cuerpos en caída libre son proporcionales a sus pesos, e inversamente proporcionales a la resistencia de los medios en los

[8] Desempeña así el papel de intermediaria entre lo matemático y lo real.

[9] Los dos primeros no son sólo personajes simbólicos, son también personajes reales: Sagredo (1571-1620) es un veneciano, Salviati (1582-1614) un florentino, amigos de Galileo cuya memoria quiso éste perpetuar. Simplicio es puramente simbólico. Es poco probable que Galileo haya elegido su nombre pensando en el gran comentarista de Aristóteles, Simplicius; es más verosímil que haya querido indicar que el espíritu de un aristotélico es por definición simplista; o que al jugar con la interferencia de nombres, haya querido sugerir que los descendientes espirituales de *Simplicius* eran *simplistas*.

[10] De la cohesión y de la resistencia de los materiales a la ruptura (título de la *giornata prima*) del *vacuum*, de algunas paradojas del infinito (la rueda de Aristóteles), del experimento que trata de demostrar que la propagación de la luz se realiza en un tiempo y no en un instante, etc.

que se mueven —de donde se deduce la imposibilidad del movimiento en el vacío— Galileo, primero, la da a conocer a través del portavoz del aristotelismo, Simplicio, y luego le opone, por boca de Sagredo, los datos de un experimento real y por boca de Salviati, los resultados de un experimento imaginado [11].

SIMPLICIO: Aristóteles, al menos en lo que yo recuerdo arremete contra ciertos filósofos antiguos, quienes recurrían al vacío por considerarlo necesario para el movimiento, diciendo que éste no podrían darse sin aquél. Aristóteles les replica demostrando que, muy al contrario, al tener lugar el movimiento (tal como veremos) es el vacío lo que hay que descartar. Su razonamiento discurre así: hace dos suposiciones, una de las cuales trata de los móviles con pesos diferentes, que se mueven en el mismo medio y la otra, de un mismo móvil moviéndose en medios diferentes. Por lo que a la primera se refiere, supone que los móviles de peso diferente se mueven en el mismo medio con velocidades distintas, las cuales mantienen entre sí la misma proporción que sus pesos respectivos. De modo que, por ejemplo, un móvil diez veces más pesado que otro, se mueve con una velocidad diez veces mayor [12]. En el segundo caso, parte del principio de que las velocidades de un mismo móvil, en medios diferentes, son inversamente proporcionales al espesor o densidad de tales medios. De modo que si suponemos, por ejemplo, que la densidad del agua es diez veces superior a la del aire, la velocidad en el aire, siempre según Aristóteles, sería diez veces mayor que la velocidad en el agua [13]. Y de esta segunda suposición deriva lo siguiente: dado que lo tenue del vacío supera infinitamente la corporeidad, por muy sutil que sea, de cualquier medio pleno, todo móvil que se mueva en este medio pleno durante cierto tiempo, recorriendo cierto espacio, debería moverse por el vacío en un solo instante [14]. Ahora bien, el movimiento instantáneo es imposible, luego es imposible que se dé el vacío como fundamento del movimiento.

[11] Cf. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze (Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, vol. VIII, Florencia, 1898), pp. 105 ss. Al no haberse traducido nunca al francés los *Discorsi*, los citaré a continuación *in extenso*.) [Para la versión castellana utilizamos la edición preparada por Carlos Solís y Javier Sádaba: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional, 1976. En esta versión se indican las correspondencias con la paginación de la edición italiana citada, por lo que no añadiremos referencias de página a la edición española.]

[12] Así, suponiendo constante la resistencia del medio, se tiene: $V_1 = P_1 : R$ y $V_2 = P_2 : R$.

[13] $V_1 = P : R_1$; $V_2 = P : R_2$. Uniendo estas dos fórmulas se obtiene: $V = P : R$. Sienpre se supone $P > R$.

[14] $V = P : 0 = \infty$. La velocidad, en el vacío, sería infinita.

SALVIATI: Se ve que el argumento es *ad hominem;* es decir, contra los que hacían del vacío condición necesaria del movimiento, de modo que si yo concediera que el argumento es concluyente, concediendo al mismo tiempo que el movimiento no tiene lugar en el vacío, la hipótesis del vacío, tomada absolutamente y no en relación al movimiento, no queda, sin más, eliminada[15]. Pero para decir aquello que podrían haber respondido esos filósofos antiguos, y a fin de que se vea mejor hasta qué punto es concluyente la demostración de Aristóteles, creo que podrían atacarse los dos supuestos negándolos simplemente. En lo que atañe al primero, dudo seriamente que Aristóteles haya hecho la experiencia consistente en tomar dos piedras, una de las cuales es diez veces más pesada que la otra, para dejarlas caer al mismo tiempo desde una altura, pongamos de cien brazas, y ver si descienden con velocidades tan diferentes que en el momento en que una está tocando el suelo, nos encontremos con que la otra no ha recorrido ni siquiera diez brazas.

SIMPLICIO: De sus mismas palabras se deduce, sin embargo, que él lo ha experimentado, ya que dice: *Vemos que el más pesado.* Ahora bien, tal *verse* alude a una experiencia llevada a cabo.

SAGREDO: Yo, sin embargo, señor Simplicio, que no he hecho la prueba, os aseguro que una bala de cañón que pese cien, doscientas o más libras, no aventajará ni siquiera en un palmo en su llegada al suelo, a una bala de mosquete de media libra, aunque la altura de la caída sea de doscientas brazas[16].

SALVIATI: Sin recurrir a otras experiencias, podremos probar claramente, sin embargo, con una demostración breve y concluyente, que no es verdad que un móvil más pesado se mueva a más velocidad que un móvil más liviano, con tal de que ambos sean de la misma materia, como es el caso, sin duda, de aquellos de los que habla Aristóteles. Pero decidme antes, señor Simplicio, si admitís que a todo cuerpo pesado en caída libre le corresponda una velocidad determinada, de modo tal que no se pueda aumentar o disminuir a no ser que le hagamos violencia o le pongamos alguna resistencia.

SIMPLICIO: Está fuera de toda duda que el mismo móvil en el mismo medio tiene una velocidad reglamentada y determinada por la naturaleza, la cual no podrá aumentarse a no ser por un impulso [*impeto*] nuevo ni disminuirse si no es recurriendo a algo que la obstaculice y la retarde.

[15] Sabemos que Galileo admite, no sólo la existencia de pequeños vacíos infinitesimales —que explican la cohesión de los cuerpos— sino también de vacíos de dimensiones finitas, *e.g.* los que se producen en la bomba de succión.

[16] Es, confesémoslo, muy dudoso que Sagredo haya hecho nunca estos experimentos; los primeros que los instituyeron de un modo sistemático fueron al parecer G.B. Riccioli y Mersenne; cf. mi «An experiment in measurement», en *American Philosophical Society, Proceedings.* Filadelfia, 1953; traducción española «Un experimento de medición», a continuación, pp. 274-305.

SALVIATI: Entonces, si nosotros tuviéramos dos móviles, cuyas velocidades naturales fuesen distintas, es evidente que si uniésemos ambos, el más rápido perdería velocidad por obra del más lento, mientras que éste aceleraría debido al más rápido. ¿Estáis de acuerdo con lo que acabo de decir?

SIMPLICIO: Me parece que las cosas deben, ciertamente, suceder así.

SALVIATI: Pero si esto es así, y si es verdad, por otro lado, que una piedra grande se mueve, por ejemplo, con una velocidad de ocho grados y una piedra pequeña, con una velocidad de cuatro, si las unimos, el resultado de ambas, según lo dicho, será inferior a ocho grados de velocidad. Ahora bien, las dos piedras juntas dan por resultado una más grande que la primera que se movía con ocho grados de velocidad; de lo que se sigue que tal compuesto se moverá a más velocidad que la primera de las piedras sola, lo cual contradice vuestra hipótesis. Veis, pues, cómo suponiendo que el móvil más pesado se mueve a más velocidad que el que pesa menos, concluyo que el más pesado se mueve a menos velocidad[17].

Simplicio queda totalmente aturdido: ¿no es evidente que al añadir una piedra más pequeña a una mayor se aumenta su peso y por lo tanto, según Aristóteles, su velocidad? Pero Salviati le asesta un golpe más diciendo que no es verdad que la piedra pequeña, añadida a la grande, aumenta su peso. Efectivamente[18], es necesario distinguir entre los graves en movimiento y los mismos graves en reposo.

Una piedra grande colocada sobre una balanza, no solamente pesará más si se le añade otra piedra, sino que con adjuntarle sólo una brizna de estopa, aumentará su peso las ocho o diez onzas del peso de la estopa. Pero si, por el contrario, dejáis caer libremente, desde cierta altura, la piedra y, atada a ella, la estopa ¿creéis que el peso de la estopa, añadido al de la piedra, acelerará el movimiento de ésta o más bien que lo que hará es disminuir su velocidad, sosteniéndola en parte? Sentimos sobre nuestras espaldas el peso de un objeto cuando intentamos oponernos al movimiento que se produciría si cayese, pero si somos nosotros mismos los que descendemos a la velocidad a la que caería de modo natural dicho cuerpo ¿creéis que se nos echaría encima y sentiríamos su peso? ¿No veis que esto sería como querer herir de una lanzada a alguien

[17] Es interesante notar que este argumento fue presentado por Galileo ya en su *De motu* juvenil (cf. *Opere*, vol. I, p. 265), escrito probablemente hacia 1590, sin que Galileo hubiera sacado de él la consecuencia de la igualdad de la velocidad de caída de los graves.

[18] Cf. *Opere*, vol. VIII, pp. 108 ss.

que huyera delante de nosotros a la misma velocidad[19] o más rápido que nosotros mismos? Sacad la conclusión, por tanto, de que en la caída libre y natural, la piedra más pequeña no presiona con su peso a la mayor y, consecuentemente, no le añade peso alguno, como sería el caso en estado de reposo.

Simplicio, sin embargo, no se rinde:

¿Y si se posase la piedra mayor sobre la pequeña?

Aumentaría el peso de la otra, responde Salviati[20], si su movimiento fuese más rápido. Pero hemos visto ya de modo concluyente que si la más pequeña fuese más lenta, reduciría un tanto la velocidad de la mayor, de forma que la suma de ambas daría por resultado una caída menos veloz, a pesar de ser más grande, cosa que va contra vuestra suposición. Concluyamos, por tanto, que los móviles, grandes o pequeños, se mueven a la misma velocidad si tienen el mismo peso específico [*gravità in spezie*].

La mención hecha por Galileo de la gravedad específica —y esto en un razonamiento donde no tiene nada que ver— es extremadamente curiosa. E incluso históricamente muy importante: nos revela la fuente que inspira el razonamiento galileano, tanto en el pasaje que acabo de citar como en el que voy a citar después. Esta fuente es Juan Bautista Benedetti[21]. Efectivamente, desde 1553, en la dedicatoria del prefacio a Gabriel de Guzmán de su *Resolución de todos los problemas de Euclides...*[22] en la que, para el análisis de la bajada de los graves, sustituye el esquema de Aristóteles por un esquema arquimediano —Galileo, como veremos enseguida, hace lo mismo—, Benedetti escribe:

Digo, pues, que si hubiera dos cuerpos de la misma forma[23] y de la misma especie [gravedad específica], [estos cuerpos], fueran

[19] Es divertido notar que este «sorprendente» ejemplo será utilizado por Stefano degli Angeli en su polémica con Riccioli; cf. mi «de Motu gravium...», *American Philosophical Society, Transactions*, 1955.

[20] *Opere*, vol. VIII, p. 109.

[21] La influencia de J. B. Benedetti sobre Galileo ha sido puesta de relieve ya por G. Vaillati (cf. «Le speculazioni di Giovanni Benedetti sul moto dei gravi», *Scritti*, pp. 161 ss., y hoy, R Giacomelli, *Galileo Galilei giovane e il suo «De motu»*, Pisa, 1949.

[22] *Restitutio omnium Euclidis problematum aliorumque una tantum modo circuli apertura*, Venecia, 1533. Sobre J B. Benedetti, cf. mi estudio «Jean Baptiste Benedetti, critique d'Aristote», *Mélanges offerts à Étienne Gilson*, París, 1959 (y *supra*, pp. 125-149), y mis *Études Galiléennes* I y II donde se encontrará la bibliografía de este autor; cf. también los trabajos de Vaillati y de R. Giacomelli, citados en la nota precedente.

[23] Si no lo fueran, su forma influiría en su movimiento.

iguales o desiguales, se moverían en el mismo medio, por un espacio igual, en un tiempo igual. Esta proposición es muy evidente, pues si se movieran en un tiempo desigual, deberían ser de especies diferentes, o moverse a través de medios diferentes[24].

Benedetti, como Galileo, considera que la caída simultánea de graves grandes y pequeños (de naturaleza o especie, es decir, gravedad específica, idéntica) es contraria a la enseñanza de Aristóteles. En lo que, indudablemente, tienen razón: Aristóteles efectivamente enseñó que las piedras grandes caen más rápidamente que las pequeñas[25]. Podríamos preguntarnos, sin embargo, si Simplicio no se equivocó al rendirse tan fácilmente al razonamiento de Salviati y dejarse confundir por su «experimento» paradójico, de un cuerpo aumentado de peso por la adición de otro, que se mueve más lentamente o tan deprisa como el primero. ¿No podría, no debería responder que en su análisis de la caída, Salviati ha olvidado un factor de una importancia capital, esencial, a saber, la resistencia al movimiento? Todo movimiento, en efecto, implica acción y resistencia; y él, además, ha admitido como evidente que el peso de *un conjunto de cuerpos* desempeña, con relación a este conjunto, el mismo papel que el de un cuerpo individual con relación a este último. ¿No podría decir, por ejemplo, que el «experimento» de Benedetti presentado por él en su libro *Diversas especulaciones matemáticas y físicas*[26], experimento en el que se dejan caer dos cuerpos iguales (y de idéntica materia) por separado primero, después uniéndolos por una línea matemática, concluyendo que no hay ninguna razón para que, en el segundo caso, vayan más deprisa que en el primero (unidos más deprisa que por separado) es excelente, pero no tiene ningún valor en contra de Aristóteles?[27] Efectivamente, los dos cuerpos en cuestión seguirán siendo *dos* cuerpos unidos y no *uno solo*: dos caballos parecidos unidos por una brida no forman un caballo dos veces mayor, y los dos juntos no corren

[24] El prefacio de Benedetti fue publicado por él aparte, igualmente en Venecia, en 1554, bajo el título: *Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem;* rarísimo, fue publicado de nuevo por G. Libri, en el vol. III de su *Histoire des sciences mathématiques en Italie* (París, 1848, pp. 248 ss.); el pasaje que cito se encuentra en las pp. 249-250; yo lo he reproducido, traducido, en mi artículo citado anteriormente en la nota 22.

[25] En lo que, por otra parte, tenía razón.

[26] *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, 1585.

[27] *Ibid.*, p. 174; cf. p. 371 de mi artículo citado en la nota 22.

más deprisa que cada uno de ellos, sino exactamente a la misma velocidad que si no estuvieran enlazados; además, incluso si se consideran los dos cuerpos de Benedetti como un solo cuerpo, éste no tendría efectivamente ninguna razón para ir más deprisa que cada uno de ellos tomado aisladamente ni en el vacío, donde la velocidad de todos modos sería infinita, ni en el lleno, puesto que tendrían que enfrentarse con una resistencia doble[28]. Ahora bien, siendo directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia, la velocidad sería la misma en los dos casos[29].

Y en cuanto al «experimento» de Salviati, Simplicio habría podido responder igualmente que una gavilla de paja unida a una bala de cañón sigue siendo una gavilla de paja, como la bala de cañón sigue siendo una bala de cañón. Y que si la gavilla cae lentamente cuando está sola, y la bala de cañón deprisa, es razonable, y en modo alguno contrario a la enseñanza de Aristóteles, admitir que, si se las uniera, la bala de cañón aceleraría el movimiento de la gavilla y ésta disminuiría el movimiento de la bala de cañón, aunque el peso del conjunto fuera mayor que el de los objetos que lo componen y sobre todo que el de la bala: el conjunto compuesto por una gavilla de paja y una bala de cañón no es una bala de cañón más pesada. El conjunto no es un objeto natural. Además, igual que en su pretendida respuesta a Benedetti, Simplicio habría podido añadir que, incluso si nos obstináramos, contrariamente al sentido común, a la razón —y a Aristóteles— en referir al conjunto lo que no vale más que para los componentes, deberíamos haber tenido en cuenta que al haber aumentado el volumen del conjunto —con relación a la bala— mucho más que su peso, la resistencia al movimiento del conjunto aumenta también mucho más que su pesantez, y que es pues completamente normal —y una vez más, conforme a la dinámica de Aristóteles— que si disminuye la proporción entre fuerza moviente y resistencia, el movimiento, es decir, su velocidad, disminuya igualmente.

Simplicio habría podido decir todo esto o algo análogo. En cierto modo es una lástima que no lo haya hecho: la posición aristotélica se habría aclarado sin que por ello se hubiera hecho más fuerte. Pues a su vez, Salviati, invocando el ejemplo

[28] Si se les considerara unidos por una barra material, ésta ofrecería una resistencia suplementaria al aire que la rodea.

[29] Dos hombres agarrados de la mano no caen más deprisa, ni realmente, ni según Aristóteles.

del huevo de gallina y del huevo de mármol, ejemplo del que se sirve en un contexto un poco diferente[30], habría podido contestarle que la toma en consideración de la resistencia no salva la aserción de la proporcionalidad de la velocidad y del peso, dado que allí donde esta resistencia, siendo parecida para los cuerpos en cuestión —el huevo de gallina y el huevo de mármol— no cuenta, la velocidad de la caída de dichos cuerpos no sigue en modo alguno la proporción de sus pesos. En realidad, en lugar de moverse mucho más lentamente que el huevo de mármol, el huevo de gallina se mueve casi tan rápido como éste y llega a tierra casi al mismo tiempo que él.

Si en su crítica-reducción al absurdo de la dinámica de Aristóteles que acabamos de examinar, Galileo no ha tenido en cuenta la resistencia opuesta por el medio al movimiento del cuerpo que baja, no deduzcamos de esto que desconociera en general el papel que desempeña en esta dinámica. Muy al contrario: a través de la crítica de la concepción aristotélica relativa a las relaciones de la potencia con la resistencia llegará a demostrar, por medio de un experimento imaginario, no sólo la posibilidad de movimiento en el vacío, sino también el hecho de que, *en el vacío*, todos los cuerpos caen con la misma velocidad y de que es justamente la resistencia del medio lo que explica que no lo hagan en el lleno.

¿Por qué, entonces, no lo ha mencionado hasta ahora? Quizás porque al haber presentado la dinámica aristotélica como algo fundado en los dos principios-axiomas que afirman: *a)* que la velocidad es proporcional a la fuerza motriz, y *b)* que es inversamente proporcional a la resistencia, juzgó que tenía que hacer su crítica por separado[31]; quizás también porque habitualmente esta resistencia —la del aire— es mínima y por esto puede ser desdeñada. Efectivamente, cuando Simplicio, en lugar de exponer a Salviati los razonamientos que hemos tenido que exponer en su lugar, se limita a decirle que, a pesar de todos sus argumentos, no cree que un grano de plomo caiga tan rápidamente como una bala de cañón, se gana por parte de Salviati una violenta diatriba[32]:

SALVIATI: Deberíais decir, más bien: y un grano de arena a la misma velocidad que una rueda de molino. No quisiera yo, señor

[30] Cf. más abajo, p. 219.
[31] Su propia teoría tendrá en cuenta los dos factores.
[32] *Discorsi, giornata prima* (*Opere*, vol. VIII), p. 110.

Simplicio, que hicierais como otros muchos y que, dislocando nuestro razonamiento de su objetivo principal, os agarraseis a algo que yo he dicho y que se aparte de la verdad tanto como el espesor de un cabello, queriendo esconder bajo tal cabello el error, del tamaño de una soga, cometido por otro. Aristóteles dice: «Una bola de hierro de cien libras, que cae de una altura de cien brazas, llega al suelo antes de que una bola de una libra haya descendido una sola braza.» Yo, por mi parte, afirmo que las dos llegarán al mismo tiempo. Si hacéis la experiencia, podéis constatar que la más grande saca a la más pequeña una ventaja de dos dedos solamente; es decir, que en el momento en que la más grande toca el suelo, la otra está a una distancia de dos dedos. Estando así las cosas, ¿querríais esconder las noventa y nueve brazas de Aristóteles debajo de aquellos dos dedos y, poniendo de relieve mi pequeño error, pasar por alto aquel otro descomunal?

Afirma Aristóteles que móviles de diferente gravedad se mueven, en el mismo medio (en cuanto que su movimiento depende de la gravedad) con velocidades proporcionales a sus pesos y lo ejemplifica por medio de móviles en los que considera, pura y simplemente, el efecto del peso, dejando de lado cualquier otra consideración, tanto en lo que atañe a las figuras como a los momentos [*momenti*] mínimos, cosas sobre las que el medio influye grandemente, alterando de esta manera el simple efecto de la gravedad. Por esa razón vemos que el oro, más pesado que cualquier otra materia, flota en el aire cuando se reduce a finísimas hojas. Lo mismo ocurre con las piedras molidas cuando se las convierte en un polvo muy sutil.

Pero si lo que pretendéis es dar a vuestra proposición un valor universal, os es necesario demostrar que la proporción entre las velocidades se puede observar en todos los graves y que una piedra de veinte libras se mueve con una velocidad diez veces mayor que una piedra de dos libras.

La resistencia del medio desempeña, pues, efectivamente, un cierto papel en la determinación de la velocidad de la caída; Aristóteles al afirmarlo no se equivocó por completo. Sin embargo cometió un gran error al admitir que es —para un grave dado— inversamente proporcional a la resistencia, es decir, a la densidad de los medios en los que se mueve. Falta que implica consecuencias inadmisibles.

En efecto[33]:

que, si fuese verdad que el mismo móvil, en medios de diferente sutilidad [densidad] y rarefacción, en suma, de diversa consistencia [literalmente no-resistencia, *cedenza*], como son, por ejemplo, el

[33] *Ibid.*, p. 110; cf. el mismo argumento en el *De motu* (*Opere*, vol. I) pp. 263 ss.

agua y el aire, se desplazase en el aire con una velocidad mayor que en el agua, según la proporción de la rarefacción del aire y de la del agua, se seguiría que cualquier móvil que descendiese a través del aire lo haría también a través del agua; lo cual es falso, ya que muchísimos cuerpos descienden en el aire mientras que en el agua no sólo no descienden sino que emergen hacia la superficie.

Simplicio no comprende muy bien el razonamiento de Salviati; además estima que es ilegítimo, dado que Aristóteles no se ocupa más que de los cuerpos que bajan en los dos medios (agua y aire), y no de los que bajan en el uno y vuelven a subir en el otro.

Tomada al pie de la letra la objeción de Simplicio es sin duda bastante débil. Y Salviati tiene mucha razón al hacérselo notar observando que defiende mal a su maestro. Efectivamente, Simplicio habría debido decir —como lo había hecho anteriormente— [34] que la física de Aristóteles no es una física matemática y que, por esto, no se deben tomar al pie de la letra —al pie de la letra matemática— las fórmulas de proporcionalidad que anticipa; no son realmente más que cualitativas y vagas, son sólo aproximadas [35]. Galileo, por supuesto, lo sabe muy bien. Pero estima sin duda que, habiendo tratado del problema general de la matematización de la ciencia física en su *Dialogo* [36], no necesitaba discutirlo en los *Discorsi*. Habría podido añadir que tomar al pie de la letra las fórmulas seudomatemáticas de Aristóteles, no es algo que le sea propio, y que los comentaristas de Aristóteles lo han hecho mucho antes que él [37]. Por eso Salviati procede a la demostración con un ejemplo

[34] Cf. *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, giornata prima* (*Opere*, vol. VII), p. 38; *giornata seconda*, p. 242.

[35] Simplicio, en el fondo, tiene razón: al sustituir por un esquema estrictamente cuantitativo las concepciones semicualitativas de Aristóteles, a cuyas determinaciones hay que añadir siempre «aproximadamente» se desvirtúa sensiblemente su sentido; cf. sobre esto mis *Études galiléennes*, III, pp. 120 ss., y muy recientemente M. E. J. Dijksterhuis, «The origins of classical mechanics», en *Critical problems in the history of science*, Madison, Wisconsin, 1959.

[36] Cf. *Dialogo, giornata prima*, pp. 38 ss.; *seconda*, pp. 229 ss.; 242 ss.; *terza*, pp. 423 ss.; cf. también *Il saggiatore* (*Opere*, vol. VI), p. 232, etc.

[37] Por eso los críticos medievales —y ya en realidad el propio Aristóteles— le opusieron las consideraciones-contradicciones siguientes: de la igualdad de la fuerza a la resistencia resulta, según su fórmula, la velocidad 1 ($V = P : R$, $P = R$, por lo tanto $V = 1$); ahora bien, está claro que si la resistencia es igual a la velocidad, no se seguirá de esto ningún movimiento. La fórmula velocidad = fuerza : resistencia implica incluso algo todavía más absurdo, a saber, que toda fuerza, por pequeña que sea, produce siempre movimiento, por grande que sea la resistencia que se

«concreto» de las consecuencias absurdas, e incluso contradictorias, de la tesis de Aristóteles.

Pero decidme, dice a Simplicio[38], si la consistencia del agua, o cualquier cosa que retrase el movimiento, guarda una proporción determinada con la consistencia del aire, que lo demora menos; y en caso de que se dé tal proporción, asignadle el valor que os plazca.

Se da, responde Simplicio. Pongamos, ahora, que sea en una proporción de diez a uno y que, por tanto, la velocidad de un cuerpo que desciende en ambos elementos, tendrá una velocidad diez veces menor en el agua que en el aire.

Tomemos ahora, prosigue Salviati, uno de esos cuerpos que caen en el aire, pero no en el agua, como sería el caso de una bola de madera. Os pido que le asignéis la velocidad de caída en el aire que más os guste.

Demos a tal velocidad un valor de veinte grados, propone Simplicio.

En buena lógica, concluye Salviati, conforme a la regla de Aristóteles se debería concluir que la bola de madera que, en el aire, medio cuya resistencia es diez veces menor que la del agua, desciende a una velocidad de veinte grados, en el agua debería descender a dos grados sin subir desde el fondo a la superficie que es lo que realmente ocurre.

Viceversa, un cuerpo, más pesado que la madera, que descienda en el agua con la velocidad de dos grados, deberá hacerlo en el aire con la velocidad de veinte, es decir, con la de la bola de madera, más ligera, lo que contradice las enseñanzas de Aristóteles sobre la proporcionalidad entre velocidad y peso. Por otra parte, contamos con la experiencia cotidiana para demostrarnos que la tesis de Aristóteles es falsa, y que la relación entre las velocidades de los cuerpos que descienden en el agua es muy diferente de la relación entre la velocidad de sus caídas en el aire:

le oponga. Por lo tanto —desde Averroes— se han enunciado algunas fórmulas que deben tener en cuenta estas circunstancias, en particular la que determina la velocidad como proporcional no a la fuerza, sino al exceso de la fuerza sobre la resistencia, fórmula muy análoga a la que adoptará Benedetti (cf., más abajo, pp. 232 ss.); y Bradwardine adoptará incluso una más complicada que, en notación moderna, equivale a una función logarítmica; cf. sobre esto, Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and late medieval physics*, pp. 129 ss., Nueva York, 1941, y Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im XIV Jahrhundert*, pp. 81 ss., Roma, 1949; Marshall Clagett, *The science of mechanics in the Middle Ages*, Madison, Wisc., 1959.

[38] *Discorsi*, p. 111.

Así, por ejemplo[39], un huevo de mármol, que descenderá en el agua a una velocidad cien veces mayor que un huevo de gallina, si lo dejamos caer junto con éste en el aire desde una altura de veinte brazas, no le sacará una distancia superior a cuatro dedos. Aquel cuerpo, en suma, que tardará tres horas para llegar hasta el fondo en diez brazas de agua, atravesará diez brazas de aire en el tiempo que dura una o dos pulsaciones, mientras que otro cuerpo (como sería, por ejemplo, una bola de plomo) las atravesará en un tiempo fácilmente menor del doble.

Se deduce, pues, que la objeción aristotélica contra la posibilidad de un movimiento en el vacío, fundada en el acrecentamiento de la velocidad proporcionalmente a la disminución de la resistencia, no tiene valor: la velocidad en el vacío no será en absoluto infinita[40].

La posibilidad del movimiento en el vacío, y esto partiendo de las mismas bases, a saber, de la crítica de la «proporcionalidad» aristotélica, ha sido afirmada ya, como se sabe, por Benedetti. Pero Benedetti, al demostrar —como lo hará también Galileo— que de la fuerza motriz, tomada como igual o idéntica al peso, había que deducir el valor de la resistencia, en vez de dividirla por éste, sacaba la conclusión de que en el vacío los cuerpos descenderían con velocidades proporcionales a sus pesos específicos, y no, como lo hará Galileo, que caerían todos con la misma velocidad. Por eso es interesante notar que —sin nombrarlo sin embargo— Sagredo invoca la tesis de Benedetti, tesis a la que, además, como hemos visto, Salviati había parecido adherirse[41].

Acabáis de demostrar con toda claridad cómo no es cierto que móviles de distinto peso se muevan en el mismo medio con velocidades proporcionales a sus pesos, sino, más bien, con la misma velocidad, con tal de que estos cuerpos sean de la misma sustancia o, al menos, del mismo peso específico y no (me parece a mí) de pesos específicos diferentes (porque no pienso que vuestra intención fuese probarnos que una bala de corcho cae a la misma velocidad que una bala de plomo). Habéis demostrado también con toda evidencia que no es verdad que el mismo móvil, en medios de distinta resistencia, presente una rapidez o lentitud con la misma propor-

[39] *Ibid.*
[40] *Ibid.*, p. 112.
[41] *Ibid.*, p. 112 ss. Es un uso constante —y muy pedagógico— en Galileo hacer recorrer por el lector las fases de su propio pensamiento y hacerle caer en los errores en los que cayó él mismo y liberarle de ellos. Es Sagredo el que está encargado normalmente de representar la fase intermedia, y Salviati aquélla a la que aboca.

ción que aquellas resistencias. Sería muy grato para mí escuchar cuáles son las proporciones observadas tanto en un caso como en el otro.

Ahora bien, sabemos que lo que Galileo espera demostrar, es justamente lo que parece increíble a Sagredo —y antes a él mismo— a saber, que en el vacío una pelota de corcho y una de plomo caen, no con velocidades diferentes, sino con la misma velocidad. Tesis perfectamente extravagante y a propósito de la cual, con mucho más derecho aún que a propósito de su ley de la aceleración de los cuerpos en su caída, habría podido decir que no había sido sostenida por nadie antes que él [42]. Por ello es interesante analizar de cerca su demostración. Esto tanto más cuanto que nos revela la marcha de su pensamiento [43].

Después de haberme asegurado de que no es cierto que el mismo móvil, en medios de diferente resistencia, se mueva a una velocidad proporcional a la penetrabilidad de dichos medios ni que, en el mismo medio, móviles de distinto peso mantengan entre sus velocidades la misma proporción que entre sus pesos (me refiero aquí a pesos específicos diferentes [44]) comencé a poner en relación estos dos tipos de sucesos y a observar qué es lo que ocurriría con móviles de diferente peso, colocados en medios con resistencias distintas. Pude comprobar entonces que la desigualdad de las velocidades era siempre, en los medios más resistentes, mayor que en los más penetrables y, en un grado tal, que dos móviles que descendieran en el aire diferirán poquísimo en su velocidad de caída, mientras que en el agua, el uno se moverá a una velocidad diez veces mayor que el otro. Más aún, habrá algún móvil que descienda rápidamente en el aire y que no sólo no descienda en el agua, sino que permanezca inmóvil del todo o incluso que se desplace de abajo hacia arriba; y es que podrá encontrarse algún tipo de madera o algún nudo o raíz que permanezca en reposo en el agua, aunque en el aire descienda rápidamente.

La mención del cuerpo que queda en equilibrio en el agua da lugar a una digresión (en sí interesante y que permite a

[42] La regla de la adición del espacio recorrido por un cuerpo, o un punto, en movimiento uniformemente acelerado (uniformemente disforme) fue conocida en la Edad Media, en Oxford primero, y en París después, desde la primera mitad del siglo XIV; fue incluso aplicada por Domingo de Soto en el siglo XVI al movimiento de la caída. Cf., las conocidas obras de P. Duhem, *Études sur Léonard de Vinci*, 3 vols., París, 1908-1913; su *Système du monde*, vols. VII y VIII, París, 1956 y 1958, y las obras citadas en la nota 37.

[43] *Discorsi*, p. 113.

[44] La referencia a Benedetti es patente.

Sagredo, como a Salviati, invocar experimentos bastante asombrosos sobre el equilibrio hidrostático y otras cosas más), que rompe la marcha del razonamiento y que por esto, no examinaré aquí[45]. Prosigamos el informe de Salviati[46].

Hemos visto ya que las diferencias de velocidad de los móviles con pesos distintos son cada vez mayores a medida que los medios atravesados ofrecen más resistencia. Más aún, en el mercurio, el oro no solamente cae hasta el fondo a más velocidad que el plomo, sino que es él sólo el que desciende, mientras que los otros metales y las piedras todas permanecen en la superficie flotando. En las bolas de oro, de plomo, de cobre, de pórfido y de otras materias pesadas, sin embargo, será casi insensible la diferencia de sus velocidades en el aire, ya que una bola de oro, al cabo de una caída desde una altura de cien brazas, no aventajará, con toda seguridad, a una bola de cobre en cuatro dedos. Habiendo visto, repito, todo esto, yo llegaría a la conclusión de que si se eliminara absolutamente la resistencia del medio, todos los cuerpos descenderían a la misma velocidad.

El razonamiento de Galileo se presenta, pues, como una especie de paso al límite: las dos series de magnitudes, la de la resistencia de los medios en los que se mueven los graves, y la de la diferencia de sus velocidades, evolucionan de un modo concordante: cuanto más fuerte es la resistencia, mayor es la diferencia; inversamente, a medida que la primera se debilita, la segunda disminuye[47]. Suprimamos la primera: tenemos todas las probabilidades de ver cómo desaparece igualmente la segunda.

Esto, por supuesto, no es una prueba lógicamente satisfactoria. Y el aristotélico no se equivoca completamente al no aceptarla como tal[48]. Para demostrar la proposición galileana, sería necesario un experimento, pero éste es imposible: no podemos operar en el vacío. Por eso Galileo se ve obligado a invertir el procedimiento y demostrar que partiendo de su hipótesis de la velocidad igual de la caída de los graves en el vacío, puede volver a encontrar los datos de la experiencia

[45] Cf. apéndice, pp. 250-257.

[46] *Discorsi*, p. 116.

[47] En el esquema aristotélico esta diferencia —proporcional a los pesos de los cuerpos que bajan y a las densidades de los medios— debería permanecer inalterada.

[48] Tanto menos cuanto que contradice la teoría, a primera vista tan seductora, de Benedetti.

real; y además explicar el verdadero papel de la resistencia en el retraso efectivo del movimiento. Continúa por lo tanto[49]:

Estamos intentando investigar lo que les ocurriría a móviles con pesos muy diferentes en un medio cuya resistencia fuese nula, de modo que cualquier diferencia de velocidad que tuviera lugar entre dichos móviles, habría que ponerla en relación, únicamente, con la desigualdad de sus pesos. Solamente un espacio completamente vacío de aire y de cualquier otro cuerpo, por muy sutil y penetrable que fuese, sería capaz de mostrarnos, sin ningún género de dudas, aquello que andamos buscando. Pero, ya que no disponemos de un espacio semejante, observemos qué es lo que ocurre en los medios más sutiles y menos resistentes, poniéndolo en relación con lo que ocurre en los medios menos sutiles y más resistentes. Si llegamos a constatar, efectivamente, que los móviles de diferentes pesos se mueven a velocidades cada vez menos distintas entre sí a medida que los medios atravesados son cada vez menos resistentes, y que, finalmente, en el medio más tenue de todos, aunque no sea todavía el vacío, la desigualdad de las velocidades entre móviles con pesos extremadamente desiguales es pequeñísima y casi inobservable, me parece que podremos admitir como conjetura altamente probable que en el vacío sus velocidades serían absolutamente iguales.

Consideremos, pues, lo que sucede en el aire. Aquí, a fin de que dispongamos de un cuerpo cuya superficie esté bien determinada y sea de una materia ligerísima, tomaremos, para nuestro propósito, una vejiga hinchada, en donde el aire que hay dentro pesará nada o casi nada en un medio compuesto de aire, ya que poco se podrá comprimir[50]. Así pues, el peso de esta vejiga se reducirá sólo al peso de una membrana muy fina que no equivaldrá siquiera a la milésima parte del peso de un volumen de plomo del mismo tamaño que la vesícula hinchada. Estos dos objetos, señor Simplicio, dejados caer desde una altura de cuatro o seis brazas, ¿qué ventaja pensáis que sacará en su caída el plomo a la vesícula? Tened la seguridad que su ventaja no será el triple, ni siquiera el doble, aunque vos la supondríais mil veces más veloz.

Pudiera ser, responde Simplicio[51], que al comienzo de la caída (es decir, en las primeras cuatro o seis brazas) ocurriese lo que acabáis de decir; pero, más adelante, si el movimiento se prolongase suficientemente, me parece que el plomo dejaría detrás de sí a la vejiga no sólo, de doce partes del espacio, seis, sino ocho o diez también.

[49] *Discorsi*, p. 117.

[50] La pesantez del aire no se discute; ni tampoco el hecho de que pese tanto más cuanto más comprimido está: son cosas que todo el mundo admite. En cambio, hay que admirar —y quizás más— el ingenio de Galileo en el montaje de su experimento —imaginario, por supuesto— aunque no pueda, evidentemente, aspirar a la precisión.

[51] *Discorsi*, p. 117.

Salviati asiente, y va aún más lejos[52]:

No dudo de que en distancias enormes el plomo podría haber recorrido cien millas antes que la vesícula hubiera recorrido una sola.

Pero esto no contradice en modo alguno su tesis: muy al contrario, el hecho de que las velocidades de los cuerpos en caída libre difieran cada vez más a lo largo de esta caída, la confirma. Es esto justamente lo que debe tener lugar si la diferencia de velocidades no está causada por la de los pesos, sino que depende sólo de las circunstancias exteriores, a saber, la resistencia del medio; no se produciría si la velocidad dependiera de los pesos de los cuerpos que bajan,

ya que, al ser éstos siempre los mismos, la proporción entre los espacios recorridos debería permanecer siempre constante, mientras que si el movimiento se continúa, vemos cómo va creciendo siempre dicha proporción.

El argumento de Galileo es capcioso. Puede incluso parecer un poco superficial y ser sólo puramente polémico, es decir, destinado a derribar —o a hacer callar— al adversario poniéndose en su propio terreno. Realmente no es en modo alguno esto. Sin duda se pone en el terreno del adversario —todo argumento crítico debe hacerlo—, pero dentro del pensamiento de Galileo debe tomarse muy en serio. Pues lo que reprocha al aristotelismo (y también implícitamente a Benedetti-Sagredo) es que se opongan al principio fundamental de toda explicación científica: causas constantes producen efectos constantes. De lo que al contrario se enorgullece es de haber establecido una doctrina conforme a tal principio.

En la dinámica aristotélica, como sabemos bien, una fuerza constante produce un movimiento uniforme. El peso constante de un cuerpo no debería, pues, producir un movimiento *acelerado* de la caída[53]. Pero hagamos caso omiso: admitamos que «causa» un movimiento acelerado: entonces, por lo menos, las relaciones entre las velocidades «causadas» por pesos diferentes habrían debido ser constantes, y por esto las relaciones entre los espacios recorridos deberían ser igualmente constantes. Ahora bien, realmente no lo son.

[52] *Ibid.*, p. 118.

[53] La explicación de esta aceleración es una *crux* de la dinámica aristotélica.

La doctrina galileana de la caída parece, por otra parte, estar sujeta a la misma objeción. Pues si en ésta el efecto inmediato y primero de la gravedad no es el movimiento, sino la aceleración, y el aumento de la velocidad de la caída sólo un efecto secundario[54], esta aceleración, suponiendo que sea diferente para cuerpos diferentes —colocadas la vejiga hinchada y la bala de plomo en el mismo medio— no deja de ser constante para cada uno de ellos. Resulta de esto —o parece resultar— que las relaciones entre las velocidades y los espacios recorridos deben seguir siendo igualmente constantes.

Que el papel de la resistencia con relación a la fuerza motriz sea mal comprendido por Aristóteles y lo sea bien por Galileo [o Benedetti] no cambia nada la situación fundamental: factores constantes no pueden producir efectos variables.

Ahora bien, es justamente lo que dice Simplicio, que como buen lógico no necesita la explicación del razonamiento galileano al que hemos tenido que proceder[55]:

Perfectamente. Pero, siguiendo vuestro razonamiento, si la diferencia de peso en móviles de pesos diversos, no puede ser la causa del cambio proporcional de velocidad, supuesto que los pesos no varían, tampoco el medio, que tomamos siempre como idéntico, podrá causar ninguna alteración en la relación de las velocidades.

Simplicio, como acabamos de ver, tiene toda la razón: si la resistencia del medio tuviera un valor constante —como lo admite Aristóteles (y el propio Galileo al seguir a Benedetti lo hará también en un contexto diferente) —la relación de las velocidades, producto de dos «causas» constantes, seguiría siendo constante. Pero ahí está justamente el error: la resistencia del medio no es constante, sino que varía; y esto en función misma de la velocidad del movimiento. Salviati viene, pues, a dar su explicación[56]:

He de decir que un cuerpo pesado tiene, por naturaleza, un principio intrínseco que lo mueve hacia el centro común de los graves[57] (esto es, hacia el centro de nuestro globo terrestre) con movimien-

[54] El aumento de la velocidad, y la propia velocidad, no son más que efectos o acumulaciones de aceleraciones.

[55] *Discorsi*, p. 118.

[56] *Ibid.*, cf. también *De motu*, pp. 255 ss.

[57] La ignorancia —proclamada en el *Diálogo*— de la naturaleza de la gravedad no impide a Galileo reconocer en ella un principio inherente a los cuerpos. Esa es además la condición indispensable de la constancia de la aceleración.

to continuamente acelerado, y siempre igualmente acelerado; es decir, que en tiempos iguales se añaden nuevos impulsos iguales y nuevos grados de velocidad. Pero hay que entender que esto se cumple con la condición de que se eliminen todos los obstáculos accidentales y externos, entre los cuales hay uno que no podemos eliminar: es la resistencia que ofrece el medio pleno y que el móvil, en su caída, ha de abrir y separar hacia los lados. A este movimiento transversal, el medio, aunque sea fluido, penetrable y en reposo, opone una resistencia mayor o menor según que deba abrirse a más o menos velocidad para dejar paso al móvil. Éste, al irse acelerando continuamente, como ya he indicado, por su propia naturaleza, encuentra como consecuencia una resistencia cada vez mayor por parte del medio, retardándose por ello y disminuyendo los grados de velocidad adquiridos. Finalmente, y como consecuencia, la velocidad alcanza un punto tal, y la resistencia del medio tal magnitud, que ambas llegan a equilibrarse, eliminando la aceleración[58].

A partir de este momento, el móvil en cuestión se mueve con un movimiento «ecuable» y uniforme a la velocidad adquirida en la bajada[59]. Ahora bien, este acrecentamiento de la resistencia no proviene de un cambio en la naturaleza del medio, sino únicamente del acrecentamiento de la velocidad a que debe separarse —lateralmente— de la trayectoria del cuerpo que baja. Así, podemos añadir, se encuentra salvaguardado el principio esencial de la proporcionalidad entre la causa y el efecto y, al mismo tiempo, explicado cómo de una causa constante puede provenir un efecto variable.

El pasaje de Galileo que acabo de citar es muy interesante y muy significativo. Efectivamente no sólo nos presenta una explicación mecánica de la resistencia del medio —concepción de una importancia capital[60] y que no queda disminuida por el

[58] Es interesante notar —pero volveremos sobre ello— que si la resistencia a la aceleración es proporcional a la velocidad, y por lo tanto crece proporcionalmente a ésta, su valor propio (o su «velocidad») disminuye en proporción inversa; la relación entre la resistencia y la aceleración es, por lo tanto, exactamente la misma que la que postula Aristóteles entre resistencia y velocidad.

[59] Cf. más abajo, apéndice II; *Discorsi*, p. 118. I. B. Cohen en un libro reciente (*The birth of a new physics*, pp. 117 ss., Nueva York, 1960), hace la profundísima observación de que este movimiento descendiente «ecuable y uniforme» es un movimiento inercial, el único movimiento inercial que puede realizarse en la física galileana.

[60] Fue de ahí de donde partieron todos los posteriores estudios sobre la resistencia de los medios al movimiento de los cuerpos. Por eso no importa apenas que, como señala Newton (*Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, II, sección I: *Des mouvements des corps qui éprouvent une résistence en raison de leur vitesse*, escolio, vol. I, p. 254, París, 1759), «la hipótesis que hace proporcional la resistencia de los cuerpos

hecho de que en su aplicación a lo real, Galileo cometa un error muy curioso[61] —sino que nos revela además lo que a mí me gustaría llamar los axiomas subyacentes de su pensamiento, axiomas que él se abstiene de formular clara y explícitamente —o no llega siempre a formular— pero que se dejan ver, en cierto modo, en acción en sus propios razonamientos.

El cuerpo grave... pero todos sabemos que para Galileo, como para Benedetti y Arquímedes, todos los cuerpos son «graves» y que no los hay ligeros[62]; no podemos, pues, extender a todos los cuerpos, o al cuerpo en cuanto tal, lo que nos dice del grave, y decir que todo cuerpo «posee» un principio interno en virtud del cual se dirige hacia el centro de la tierra con un movimiento uniformemente acelerado[63]. En otros términos, la gravedad, cuya «naturaleza»[64] ignoramos por lo demás, puede, sin embargo, definirse como «causa» o «principio» *inherente* y consustancial al cuerpo, como una fuerza no sólo *constante*, sino además *la misma* en todos los cuerpos, cualesquiera que sean. Por esto justamente tiene la aceleración un valor constante e igual para todos los cuerpos, sean los que sean y dondequiera que estén colocados, lo que no ocurriría en el caso de que la gravedad fuera un efecto de una fuerza exterior, como

a su velocidad, es más matemática que conforme a la naturaleza» y que en realidad «en los medios que no tienen ninguna tenacidad, las resistencias de los cuerpos están en razón doble de las velocidades», y no en razón de las velocidades como había creído Galileo.

[61] Cf., más abajo, apéndice II.

[62] Cf. ya *De motu*, p. 360: «Concludamus itaque, gravitatis nullum corpum expers esse, sed gravia esse omnia, haec quidem magis, haec autem minus, prout corum materia magis est constipata et compressa, vel diffusa et extensa, fuerit».

[63] Se podría incluso decir que la gravedad *constituye* el cuerpo *físico*.

[64] Cf., *Diálogo (Opere*, vol. VII, pp. 260 ss.):

SIMPLICIO: La causa di quest'effeto [el movimiento de las partes de la Tierra hacia abajo] è notissima e ciaschedun sa che è la gravità.

SALVIATI: Voi errate, Sig. Simplicio; voi devevi dire che ciaschedun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando tel nome, ma dell'essenza della cosa: della quale essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro, eccettuatone il nome, che a questa è stato posto e fatto familiare e domestico per la frequente esperienza che mille volte il giorno ne veggiamo; ma non è che realmente noi intendiamo più, che principio o che virtù sia quella che muove la pietra in giù, di quel che noi sappiamo chi la muova in su, separata dal proiciente, o chi muova la Luna in giro, eccettochè (come ho detto) i nome, che più singulare a proprio, gli abbiamo assegnato di *gravità*, dovechè a quello con termine più generico assegnamo *virtù impressa*, aquello diamo *intelligenza*, o *assistente*, o *informante*, ed a infiniti altri moti diamo loro per cagione la *natura*.

por ejemplo la atracción[65]. Lo que igualmente implica que, en último término, la materia de la que están constituidos los cuerpos —por lo menos los cuerpos terrestres— es idénticamente la misma en todos ellos, y no comporta distinciones cualitativas. La gravedad de un cuerpo (en el vacío) es, pues, estrictamente proporcional a la cantidad de materia que contiene. Anticipándonos un poco, y prestando a Galileo una terminología que ignora se podría decir que, para él, la masa de un cuerpo y su gravedad no son sino la misma cosa[66].

Se podría incluso ir más lejos y, anticipándonos una vez más, decir que, para Galileo, la masa inercial y la masa gravitatoria son esencialmente idénticas, aunque esta identidad no aparezca más que en el movimiento en el vacío, y no en el que tiene lugar en el lleno, tal como veremos enseguida. ¿Masa inercial? Sin duda Galileo no emplea este término[67], aunque no es menos cierto que en sus razonamientos hace uso constante de esta noción[68]. Efectivamente, aparte del «principio inherente» de

[65] Es en esta negativa a buscar una explicación a la gravedad, y a formar a partir de ella una teoría, donde se encuentra la fuente de la esterilidad del galileísmo en teoría astronómica, y del fracaso de Borelli. Una mala teoría es siempre mejor que la ausencia de toda teoría, cf. mi *Révolution astronomique, Borelli et la mécanique celeste*, París, Hermann, 1961.

[66] La historia de la noción de masa = cantidad de materia, es aún bastante oscura. Se podría sostener, por un lado, que está, por lo menos implícitamente, presente ya en Arquímedes y, por otro, que su determinación mediante el volumen × densidad, igual que mediante el peso, lo está también: esa es la base misma del arte del experimentador. Podríamos también —y es en gran parte mi opinión— atribuir a Kepler la gloria de haber descubierto esta noción. Fue él, en efecto, quien (al distinguir la masa = cantidad de materia = volumen × densidad, que interviene en las relaciones dinámicas y permanece constante, de su peso, que no permanece constante) dio de ella, por primera vez, una definición correcta. Hazaña tanto más meritoria cuanto que Kepler es aún aristotélico en dinámica, aunque herético. Para la prehistoria de la noción de masa, cf. Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im XIV. Jahrhundert*, Roma, 1949. Max Jammer, *Concepts of Mass*, Harv. Univ. Press, 1961.

[67] El término «inercia» *(inertia)* viene de Kepler y para él quiere decir aproximadamente lo contrario de lo que quiere decir para nosotros, a saber, una resistencia del cuerpo a ser movido, una *inclinatio ad quietem* para hablar como Nicolás de Oresme. Empleo este término, por supuesto, en su sentido moderno.

[68] Se podría sostener además que la *noción* de inercia = resistencia al movimiento = inclinación al reposo, no hace más que explicitar una concepción fundamental y esencial del aristotelismo: ¿por qué efectivamente se necesitarían fuerzas para mover los cuerpos, si éstos no opusieran resistencia al hecho de ser movidos? Y ¿por qué se detendrían, privados de motor, si no tuvieran en sí una inclinación al reposo? En fin, yendo más

la gravedad, la doctrina galileana posee un segundo principio interno —que dentro de ella es el mismo— a saber, el de la resistencia a la aceleración o a la deceleración que se le impone o hace padecer[69], y esto en proporción a la magnitud de esta aceleración (positiva o negativa[70]) y a su peso, o diremos, de su masa, es decir, a la cantidad de materia que contiene[71]. Por eso —y para eso— es por lo que el medio tranquilo y cedente resiste al movimiento del cuerpo descendente: las partes del medio —que Galileo se representa como un fluido perfecto— que no tienen ninguna ligazón unas con otras (ninguna viscosidad) se oponen a su puesta en movimiento (lateral) y esto tanto más cuanto más rápido es este movimiento lateral, en función de la velocidad de la caída de dicho cuerpo; o más exactamente, en la medida en que su aceleración (paso del reposo al movimiento) es mayor. Se podría decir también: en la medida en que la acción sobre el medio del cuerpo que desciende es mayor, mayor es también la reacción del medio; o de sus partes[72]. Está claro que esta reacción es igualmente tanto más fuerte —la resistencia del medio tanto mayor— cuanto más denso es éste; o lo que es lo mismo, más pesado. Está claro, en fin, que un cuerpo que baje vencerá la resistencia del medio tanto más fácilmente cuanto mayor sea la fuerza que le anime; en otros términos: cuanto más pesado sea; o más exactamente, cuanto más pesado sea en comparación con el medio en cuestión. Así, hemos visto lo fuerte que era la resistencia que el aire oponía al debilísimo *momentum* de la vejiga

lejos: siendo el movimiento la actualización de una potencia, ¿cómo concebir que ésta última no se resiste a la actualización?

Se podría añadir además que la noción moderna de inercia no está tan lejos de la de Kepler (o de Aristóteles) como parece a primera vista, y como acabo de decir: al igual que *ésta*, es *resistencia al cambio*, cf. Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, vol. I, p. 2; París, 1759.

[69] Se trata de la resistencia a la aceleración, y no al movimiento, al que el cuerpo es «indiferente», y que sí se conserva. Es precisamente por esto por lo que, mientras que en la caída la aceleración es neutralizada por la resistencia externa (del medio), el grave continúa moviéndose con una velocidad uniforme.

[70] Por eso es preciso una fuerza mayor para conferir a un cuerpo dado una aceleración mayor (un movimiento más rápido); la aceleración es proporcional a la fuerza.

[71] La aceleración es así —para una fuerza dada— inversamente proporcional a la masa (peso) de los cuerpos sobre los que actúa.

[72] Implícitamente tenemos aquí la afirmación de la igualdad de la acción y de la reacción. Además fue afirmada ya, precisamente para el choque, por Leonardo da Vinci.

inflada, y lo pequeña que era la que oponía al gran peso de la bala de plomo; de ahí hemos concluido que si el medio fuera suprimido completamente, la ventaja que resultaría de ello para la vejiga sería tan grande y la que obtendría la pelota de plomo tan pequeña, que sus velocidades se harían iguales. Ahora bien, si admitiéramos el principio de que «en un medio que, en virtud del vacío, o de cualquier otra cosa»[73] no presenta ninguna resistencia al movimiento, todos los cuerpos caen con la misma velocidad[74], nos encontraríamos en condiciones de determinar las relaciones de velocidades de cuerpos semejantes y desemejantes al moverse, bien en el mismo medio, bien en medios diferentes; en otros términos, podríamos resolver —correctamente— el problema al que Aristóteles dio una solución que, como hemos demostrado, era falsa.

Realmente en las consideraciones destinadas a sustituir por la verdad galileana el error de Aristóteles, el papel del medio nos aparecerá bajo un aspecto sensiblemente diferente. Su acción ya no será dinámica sino —como en Benedetti— estática, o, si se prefiere, hidrostática. El medio no se opondrá al movimiento del cuerpo que baje: le quitará peso.

¿Se dio cuenta Galileo de este cambio en su manera de presentar el modo de acción del medio? No dice de esto ni una palabra y pasa de uno a otro sin detenerse en ello. Me parece imposible sin embargo admitir que los haya confundido[75]. Es más probable que haya estimado que los dos se superponen; y que haya confiado en su lector para distinguirlos. Sea lo que sea, nos dice que podemos obtener la solución del problema en cuestión, observando lo que el peso del medio sustrae al peso del móvil, que [el peso] es el modo empleado por éste [el móvil] para abrirse paso en el medio y para separar las partes de este último de su camino...[76]

Y como es evidente que el medio aligera los cuerpos inmersos en él en proporción al peso de un volumen igual de su propia mate-

[73] *Discorsi*, p. 119. ¿Qué otra cosa?

[74] La resistencia a la aceleración de los cuerpos que caen, es proporcional a su masa, pero la fuerza moviente, *i. e.* la gravedad, lo es también, por lo que la aceleración es igual.

[75] La resistencia del aire en el movimiento del péndulo y en el de los proyectiles desempeña un papel puramente mecánico; cf. más adelante, pp. 243-247.

[76] *Discorsi*, p. 119.

ria, obtendremos lo que buscamos si disminuimos, en la misma proporción, la velocidad de los móviles que en el medio no resistente (tal y como hemos supuesto) serían iguales.

Curioso razonamiento [77] que confirma la interpretación de la concepción galileana que he dado más arriba: «el peso» es la «causa» o «razón» de la aceleración. Disminuid «el peso» que actúa sobre el cuerpo: la aceleración y por lo tanto la velocidad disminuirán otro tanto, con tal de que la resistencia que oponga a la acción de este peso siga siendo la misma.

Supongamos, por ejemplo, que el plomo sea diez mil veces más pesado que el aire, mientras que la madera de ébano es solamente mil veces más pesada [78]. A las velocidades de estos dos cuerpos, que tomadas absolutamente, es decir, eliminando cualquier resistencia, serían iguales, sustrae el aire, al plomo, un grado sobre los diez mil, y uno de los mil a la madera de ébano o diez de diez mil [79]. Así pues, cuando el plomo y el ébano caigan en el aire desde cualquier altura, que recorrerían en tiempos iguales si se suprimiese la resistencia del aire, éste quitará uno a los diez mil grados de velocidad del plomo, mientras que de los diez mil grados del ébano restará diez. Esto es tanto como decir que si dividimos la altura de la caída en diez mil partes, cuando el plomo llegue al suelo, se encontrará el ébano diez o tal vez nueve partes más atrás, de las diez mil partes en cuestión. Pero, ¿qué otra cosa significa esto sino que una bola de plomo que cae desde una torre de una altura de doscientas brazas, aventajará en menos de cuatro dedos a una bola de ébano que cae desde la misma altura? El ébano pesa mil veces más que el aire, mientras que la vejiga hinchada de la que hablamos pesa solamente cuatro veces más. El aire, por tanto, sustrae uno de los mil grados de la intrínseca y natural velocidad del ébano; pero a la de la vejiga, que tomada absolutamente sería la misma, el aire le

[77] Según este razonamiento, tomado al pie de la letra, las velocidades son proporcionales a los pesos, como en Aristóteles —o en Benedetti. Pero precisamente no hay que tomar el razonamiento galileano al pie de la letra, pues no se trata de «velocidad», sino de aceleración. Actualizándolo, como ya lo he hecho en la p. 227, se podría decir que la inmersión de un grave en un medio que lo «aligera», separa su masa gravitatoria de su masa inercial.

[78] *Discorsi*, pp. 119 ss. Señalemos una vez más el carácter no empírico —imaginario— de las determinaciones numéricas de Galileo.

[79] Por el hecho de estar inmersos en el aire, el plomo perderá una diez milésima parte de su peso, el ébano una milésima; el peso efectivo del primero será, pues, $10.000 - 1 = 9.999$, el del segundo $1.000 - 10 = 990$, o en los dos casos, igual al exceso del peso del cuerpo sobre el del medio $(P - R)$.

quita uno sobre cuatro. De ahí que, en el momento en que la bola de ébano, cayendo desde la altura de la torre, toque el suelo, la vejiga no haya recorrido más que los tres cuartos de dicha altura.

El plomo es doce veces más pesado que el agua, mientras que el marfil, solamente dos. El agua, pues, sustrae de sus velocidades absolutas, que serían iguales, al plomo la duodécima parte, mientras que al marfil le sustrae la mitad, de modo que cuando el plomo haya descendido once brazas en el agua, el marfil no habrá descendido sino seis. Si seguimos esta regla, pienso que las experiencias se ajustarán mucho mejor a nuestros cálculos que a los de Aristóteles.

Sin duda alguna: el cálculo de Galileo estaría de acuerdo con el experimento mucho más que el de Aristóteles. Siempre, sin embargo, que se haga y que se sustituyan los números redondos —mil, diez mil— de Salviati por números reales, que expresen relaciones reales, medidas efectivamente entre los pesos específicos[80] de las sustancias diversas que caen en el mismo medio. Experimentos y mediciones que Galileo no ha hecho, sin duda alguna, ni pretende haber hecho. Nos encontramos una vez más, en el ámbito de los experimentos imaginados.

Son igualmente experimentos imaginados los que nos permitirán determinar las relaciones de las velocidades entre los cuerpos que caen en medios diferentes,

no compararemos las diferentes resistencias de los medios, sino que consideraremos en qué medida excede el peso del móvil al peso de los medios[81]. Así, por ejemplo, el estaño es mil veces más pesado que el aire y diez veces más pesado que el agua. Si dividimos, pues, la velocidad absoluta del estaño en mil grados, esta velocidad, al sustraerle el aire la milésima parte, será de novecientos noventa y nueve grados, mientras que en el agua se moverá solamente con novecientos grados, dado que el agua le sustrae la décima parte de su peso.

Tomemos ahora un sólido un poco más pesado que el agua, como sería, por ejemplo, la madera de encina. Si una bola de esta madera pesa, pongamos por caso, mil dracmas, otro tanto [en volumen] de agua pesará novecientos cincuenta, y lo mismo de aire, sólo dos.

[80] Galileo *no habla de* «pesos específicos» como Crew y Salvio le hacen decir en su traducción de los *Discorsi (Dialogues concerning two new sciences by Galileo Galilei*, translated from the Italian and Latin into English by W. Crew and A. de Salvio, Evaston y Chicago, 1939), pero el sentido está claro [La traducción española cit. también emplea la expresión «pesos específicos»].

[81] *Discorsi*, p. 120.

Es evidente que, suponiendo que la velocidad absoluta de la bola fuese de mil grados, en el aire no sería sino de novecientos noventa y ocho y en el agua quedaría reducida a cincuenta, dado que el agua le arrebata de los mil grados de peso, novecientos cincuenta, no dejándole más que cincuenta del peso total. Un sólido tal se movería, por tanto, en el aire a una velocidad casi veinte veces mayor que en el agua, puesto que lo que supera su peso al del agua es la vigésima parte de su propio peso.

Llegados a este punto me gustaría que consideráramos lo siguiente: ya que en el agua no pueden descender sino aquellos cuerpos que tienen un peso específico superior al de aquélla y, consecuentemente, muchos cientos de veces más pesados que el aire, si tratamos de encontrar la relación de sus velocidades en el aire y en el agua, podemos admitir, sin caer en un error notable, que el aire no disminuye de manera apreciable el peso absoluto ni, por consiguiente, la velocidad absoluta de tales cuerpos. De aquí que, después de haber determinado en cuánto exceden su peso al del agua, cosa que no ofrece grandes dificultades, diremos que su velocidad en el aire es a su velocidad en el agua como su peso total a lo que excede éste al peso del agua. Así, por ejemplo, si una bola de marfil pesa veinte onzas y lo mismo de agua, diecisiete, la velocidad del marfil en el aire es a su velocidad en el agua más o menos como veinte es a tres.

El razonamiento «hidrostático» de Galileo sigue, e incluso muy fielmente, el de Benedetti. No se diferencia de él, realmente, más que por la forma dialogada, la elegancia del estilo, el número y la variedad de los ejemplos: pues si Benedetti en su discusión del problema de la velocidad de la caída en el vacío y en un medio resistente, habla casi siempre de gravedad específica, y Galileo, casi siempre, de gravedad simplemente, sus ejemplos implican la mayor parte de las veces una referencia a la gravedad específica, y eso de un modo tal que el lector no puede equivocarse. Ahora bien, al seguir el mismo camino, sirviéndose del mismo esquema —arquimediano— en sus razonamientos, Benedetti y Galileo llegan a conclusiones sensiblemente diferentes: mientras que el primero, como ya he dicho, afirma que los cuerpos grandes y pequeños, pesados y ligeros, pero de la misma materia o *gravedad específica*, caen a la misma velocidad, y que los cuerpos de gravedades específicas diferentes caen a velocidades diferentes no sólo en el lleno sino también en el vacío, Galileo mantiene que su velocidad, en el vacío, es la misma. ¿Cómo explicar esta divergencia? ¿Se trata de un simple error del primero? ¿O es otra cosa?

Comencemos por citar a Benedetti[82]:

La proporción de los movimientos [velocidades] de los cuerpos semejantes [por sus pesos] pero de homogeneidades [materias] diferentes, moviéndose en el mismo medio y a través del mismo espacio, es [la] que se encuentra entre los excesos (sobre todo de sus pesos, o de sus ligerezas) con relación al medio... y viceversa... la proporción que se encuentra entre los mencionados excesos con relación a los medios, es la misma que la [que se encuentra entre] sus movimientos.

Pongamos un medio uniforme *bfg* (por ejemplo, agua) en el que estén colocados dos cuerpos [esféricos] de homogeneidades diferentes, es decir, de especies diferentes. Admitamos que el cuerpo *dec* es de plomo y el cuerpo *aui* de madera, y que cada uno de ellos es más pesado que un cuerpo parecido [en magnitud] pero de agua. Admitamos que estos cuerpos esféricos y acuosos son *m* y *n*... admitamos a continuación que el cuerpo acuoso igual al cuerpo *aui* es *m*, y que [el cuerpo] *n* es igual al cuerpo *dec;* [admitamos finalmente] que el cuerpo *dec* [de plomo] es ocho veces más pesado que el cuerpo *n* y el cuerpo *aui* [de madera] dos veces más pesado que el cuerpo *m* [de agua][83]. Digo, por lo tanto, que la proporción del movimiento del cuerpo *dec* con el movimiento del cuerpo *aui* (en la hipótesis admitida) es la misma que la que se encuentra entre los excesos de los pesos de los cuerpos *dec* y *aui* con relación a los cuerpos *n* y *m*, es decir, que el tiempo en el que se moverá el cuerpo *aui* será el séptuplo del tiempo en el que [se moverá] el cuerpo *dec*. Pues por la proposición III del libro de Arquímedes *De insidentibus*, está claro que, si los cuerpos *aui* y *dec* fueran igualmente graves que los cuerpos *m* y *n*, no se moverían de ningún modo, ni hacia arriba ni hacia abajo, y por la proposición VII del mismo [libro], que los cuerpos más pesados que el medio [en el que están colocados] van hacia abajo; en consecuencia, los cuerpos *aui* y *dec* se dirigirán hacia abajo, y la resistencia del húmedo (es decir, del agua) con el [movimiento] del cuerpo *aui* estará en proporción subdoble y con el cuerpo *dec* subóctuple; se deduce de esto que el tiempo en el que el... cuerpo *dec* atraviese el espacio dado estará en proporción séptupla [siete veces más larga] con el tiempo en el que lo atraviese... el cuerpo *aui*... Por eso, tal como se puede deducir del citado libro de Arquímedes, la proporción de movimiento a movimiento no es conforme a la proporción de las gravedades *aui* y *dec*, sino a la proporción de los excesos de la gravedad de *aui* sobre *m* y de la de *dec* sobre *n*. Lo inverso de esta proposición está suficientemente claro por esta misma proposición...

[82] J. B. Benedetti, *Resolutio omnium Euclidis problematum* (Libri, *op. cit.*, pp. 259 ss.); cf. pp. 353 ss. de mi artículo citado en la nota 22. Benedetti acompaña su exposición de un dibujo que he juzgado inútil reproducir aquí.

[83] ¡Madera dos veces más pesada que el agua! ¡Benedetti exagera!

De donde resulta que el movimiento más rápido no es causado por el exceso de la gravedad o ligereza del cuerpo más rápido con relación a la de los cuerpos más lentos... sino en realidad, por la diferencia [de la gravedad] específica de los cuerpos con relación a la gravedad y ligereza [del medio].

En suma, si Benedetti admite, con Aristóteles, que la «virtud» moviente del cuerpo que baja es proporcional a su gravedad, no se trata para él de la gravedad individual del cuerpo en cuestión, sino de su gravedad específica. Además, al quedar esta gravedad, según Arquímedes, disminuida por la acción del medio en el que se sumerge, lo que se tiene en cuenta es sólo el peso restante, «el exceso» de peso específico del cuerpo sobre el peso específico del medio, y lo que determina las relaciones de sus velocidades son las relaciones de estos excesos diferentes de cuerpos específicamente diferentes. Así, el peso del cuerpo que baja en un medio dado, debe restarse de la resistencia del medio y no dividirse por ella; es decir, restarse del peso de un volumen igual de este medio[84]. La velocidad será, pues, $P - R$ y no $P : R$, y las velocidades de cuerpos diferentes, en el mismo medio, estarán en relación de los excesos de sus pesos sobre el del medio $V_1 : V_2 = (P_1 - R) : (P_2 - R)$[85]. Exactamente como Galileo nos lo ha explicado.

Benedetti tiene, pues, buenas razones para señalar que su concepción «no es conforme a la doctrina de Aristóteles». ¿Las tiene también para añadir que no lo es tampoco a la de «ninguno de sus comentaristas que ha tenido ocasión de ver o leer, o con los que ha podido conversar»? Ciertamente no tenemos ninguna razón para sospechar que esté faltando a la verdad. Y por lo demás, su teoría, en su integridad, no se encuentra efectivamente en ninguno de los comentaristas del Estagirita. Lo cual no quiere decir que se encuentren cosas bastante análogas, relativas justamente a la doctrina de la caída en Juan Filopón y sobre todo en su comentario a la *Física* de Aristóteles, que era entonces fácilmente accesible[86]. Además, algunos

[84] Relación aritmética y no geométrica.

[85] Más exactamente al designar por P_c el peso del cuerpo y por P_m el del medio, $V_c = P_c - P_m$ y $V^1_c : V^2_c = (P^1_c - P_m) : (P^2_c - P_m)$.

[86] El contenido de Juan Filopón, impreso por primera vez en Venecia en 1535 (en griego), lo fue en latín en 1539, en 1546, en 1550, en 1554, en 1558 y en 1569. Galileo lo cita además en su *De motu*, p. 284 (a propósito del movimiento en el vacío; cf. más adelante, pp. 238-239: «Tanta est veritatis vis ut doctissimi etiam viri et Peripatetici huius sententiae Aristotelis falsitatem cognoverunt, quamvis eorum nullus commode Aristotelis argumenta diluere potuerit... Scotus, D. Thomas, Philoponus...»

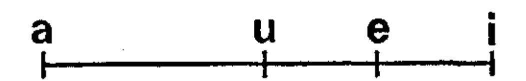
de sus comentaristas medievales, sometiendo su dinámica a una crítica muy penetrante, dedujeron la necesidad de hacer depender la velocidad de un cuerpo no de la relación F : R, de la potencia con la resistencia, sino del exceso de la primera sobre la segunda[87]. Es verdad sin embargo que Juan Filopón no se refiere a Arquímedes; y que los medievales no aplican su concepción al movimiento de la caída.

Treinta años más tarde, en su compilación de las *Diversas especulaciones matemáticas y físicas*[88], Benedetti vuelve a la cuestión y nos dice que:

cada vez que dos cuerpos tengan que enfrentarse a una misma resistencia, sus movimientos serán proporcionales a sus propiedades movientes; e inversamente, cada vez que dos cuerpos tengan una sola e igual gravedad o ligereza, y resistencias diversas, sus movimientos estarán entre ellos en proporción inversa a estas resistencias.

Atención sin embargo: no tomemos esto en el sentido de Aristóteles. Efectivamente:

el movimiento natural de un cuerpo grave en diversos medios es proporcional al peso [relativo] de este cuerpo en los mismos medios. Por ejemplo, si el peso total de un cierto cuerpo estuviera representado por *a.i*, y si este cuerpo se colocara en un medio menos denso que él mismo (pues si estuviera colocado en un medio más denso no sería pesado, sino ligero, como lo demostró Arquímedes) este medio le restaría la parte *e.i*, de tal modo que la parte *a.e* actuaría sola, y si este cuerpo estuviera colocado en algún otro medio, más denso, pero sin embargo menos denso que el propio cuerpo, este medio le restaría la parte *u.i* de dicho peso, y dejaría libre la parte *a.u.*



[87] Cf. *supra,* nota 37.

[88] *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber* (Taurini, 1585), pp. 168 ss. Al analizar las velocidades de los cuerpos que caen Benedetti no tiene en cuenta más que las fuerzas movientes puesto que se trata de un movimiento natural al que el cuerpo no opone ninguna resistencia propia. No ocurre lo mismo cuando se trata de movimientos violentos: en éstos a la resistencia externa del medio se añade la resistencia interna del cuerpo al movimiento (la del peso a la elevación o incluso al transporte lateral).

Digo que la proporción de la velocidad de un cuerpo en un medio menos denso con la velocidad del mismo cuerpo en el medio más denso, será como *a.e* es a *a.u*, lo que es mucho más conforme a la razón que si dijéramos que estas velocidades serán como *u.i* a *e.i*, puesto que las velocidades son proporcionales sólo a las fuerzas movientes... y lo que decimos ahora es evidentemente conforme a lo que hemos escrito anteriormente, pues decir que la proporción de las velocidades de dos cuerpos heterogéneos [de pesos específicos diferentes]... en el mismo medio es igual a la proporción de estos mismos pesos [específicos], es lo mismo que decir que las velocidades de un solo y mismo cuerpo en diversos medios están en proporción a los pesos [relativos] de dicho cuerpo en estos mismos medios.

Todo esto no es conforme a la doctrina de Aristóteles. Pero es Aristóteles quien se equivoca; al admitir sobre todo que la gravedad y ligereza son cualidades opuestas y propias del cuerpo. Realmente no hay nada de eso: todos los cuerpos son graves; más o menos; sus cualidades primarias consisten en su densidad o en su rareza; los cuerpos ligeros no son más que cuerpos menos graves colocados en un medio que lo es más, o más exactamente, cuerpos más «raros» colocados en medios más densos [89]. Ahora bien, podemos, con el pensamiento al menos, hacer variar la densidad, o la rareza del medio, y transformar así un cuerpo pesado (en relación con el medio) en uno ligero, y al revés. Podemos también, modificando la densidad del medio, modificar igualmente la velocidad de la caída de un cuerpo dado en medios diversos. Podemos aumentarla, en particular, haciendo el medio más ligero. Nunca sin embargo, ni siquiera en el vacío, llegará a ser efectivamente infinita, lo que hace caduca la objeción aristotélica contra el movimiento en el vacío: al contrario, es en el vacío donde los cuerpos, de pesos específicos diferentes, caerán a velocidades diferentes, velocidades que les son propias. En efecto:

en el lleno, la proporción de las resistencias exteriores se resta de la proporción de los pesos, y lo que queda determina la proporción de las velocidades, que serían nulas, si la proporción de las resistencias fuera igual a la proporción de los pesos [90]; por esto, [los pesos] tendrán en el vacío velocidades distintas que en el lleno; a saber, las velocidades de cuerpos diferentes [es decir, de cuerpos compuestos de materias diferentes] serán proporcionales a sus pesos específicos absolutos.

[89] *Ibid.*, pp. 174 ss. y *supra*, nota 62.
[90] Es decir, si las fuerzas movientes fueran iguales a las resistencias.

Al contrario, en el vacío, cuerpos compuestos de la misma materia tendrán la misma velocidad, ya sean grandes o pequeños: una bala de cañón no caerá más deprisa que una bala de mosquete.

El razonamiento de Benedetti parece carecer de fallos y por lo tanto también la conclusión a que llega; los encontraremos nuevamente, por lo demás, en el joven Galileo. En efecto, si el medio «quita» peso, y por lo tanto velocidad a los cuerpos que se mueven a través de él; si, además, a cuerpos de iguales dimensiones pero de diferentes naturalezas, es decir, pesos específicos, les quita un porcentaje diferente —aunque la cantidad absoluta del peso «quitado» sea la misma—, y si las velocidades diferentes a las que caen por esto en el mismo medio sean así proporcionales a los *excesos* diferentes de los pesos diferentes respecto a este último ($V_1 = P_1 - R$ y $V_2 = P_2 - R$), ¿no se deduce que al suprimir la acción del medio, es decir, al colocar los cuerpos en el vacío, añadimos a sus pesos y velocidades una cantidad idéntica y obtenemos en consecuencia resultados diferentes? Es justamente lo que nos dice el joven Galileo en su *De motu;* en particular[91]:

que el mismo móvil, bajando en diversos medios, sigue, en lo que concierne a la velocidad de sus movimientos, la misma proporción que tienen entre ellos los *excesos* cuya gravedad sobrepasa la de los medios; así, si la gravedad del móvil fuera 8 y la gravedad de un volumen igual del medio fuera 6, su velocidad sería 2; y si la gravedad de un volumen igual de otro medio fuera 4, su velocidad en éste sería 4. Resulta de ello que estas velocidades serán entre ellas 2 y 4; y no como los espesores o gravedades de los medios como quería Aristóteles: Del mismo modo, evidente también será la respuesta a otra pregunta, ¿cuál es la proporción que seguirán, en lo que concierne a sus velocidades, móviles iguales en volumen, pero desiguales en peso [al moverse] en el mismo medio? Las velocidades de estos móviles serán entre sí como los excesos de las gravedades de los móviles respecto a la del medio; así, por ejemplo, sean dos móviles iguales en volumen, pero desiguales en gravedad; la gravedad de uno sería 8 y [la] del otro 6, mientras que la gravedad de un volumen igual al medio sería 4: la velocidad de uno será 4 y [la] del otro 2. Estas velocidades seguirán, pues, la proporción que existe entre 2 y 4 y no la que se encuentra entre las gravedades, a saber, de 8 a 6.

[91] Cf. *De motu,* pp. 272 ss.

Galileo añade que la concepción que ha desarrollado permite calcular las relaciones de las velocidades de cuerpos diferentes que bajan —o que suben— en diversos medios y concluye[92]:

> Tales son las reglas universales de las proporciones de los movimientos de los móviles, ya sean de la misma especie o no, en el mismo medio o en medios diferentes, [moviéndose] hacia arriba o hacia abajo.

Galileo nos advierte, sin embargo, que la experiencia no verifica de ninguna manera estas reglas: los cuerpos ligeros caen mucho más rápido de lo que deberían —caen incluso, al principio del movimiento, más deprisa que los pesados— lo que además, imponiéndonos el deber de explicar la falta de concordancia de los hechos observados con la teoría, no implica en modo alguno la falsedad de ésta: las desviaciones implican la presencia y la acción de un factor suplementario...[93].

Las «reglas» de Galileo son, está claro, las de Benedetti —implican para él, como para este último, la posibilidad del movimiento en el vacío: los cuerpos en el vacío caerán a velocidades finitas; y a velocidades diferentes. El error de Aristóteles fue no haber comprendido que gravedad y ligereza no son cualidades últimas sino sólo propiedades relativas de los cuerpos, que expresan las relaciones entre sus densidades propias y las de los medios en que se encuentran: fue sobre todo haber presentado la relación entre la potencia y la resistencia como una proporción geométrica y no como una proporción aritmética. Por eso concluyó que en el vacío la velocidad sería infinita[94].

> Pues en las proporciones geométricas, es necesario que la cantidad más pequeña pueda multiplicarse hasta que exceda a toda magnitud dada. Se necesita, por lo tanto, que dicha cantidad sea algo, y no nada; efectivamente, la nada, multiplicada por sí misma, no

[92] *Ibid.*, p. 273.

[93] *De motu*, p. 273: «Sed animadvertendum est quod magna hic oritur difficultas: quod proportiones istae, ab eo qui periculum fecerit, non observari comperientur. Si enim duo diversa mobilia accipiet, quae tales habeant conditiones ut alterum altero duplo citius feratur, et ex turri deinde dimittat, non certe velocius, duplo citius, terram pertinget: quin etiam sin observetur, id quod levius est, in principio motus praeibit gravius et velocius erit. Quae quidem diversitates et, quodammo prodigia, unde accidant (per accidens enim haec sunt) non est hic locus inquirendi. Visendum enim prius est, cur motus naturalis tardius sit in principio.»

[94] *Ibid.*, pp. 278 ss.

excede de ninguna cantidad. Pero esto no es necesario en las proporciones aritméticas: en éstas un número puede tener con otro número la misma proporción que el número con la nada... Así, 20 es a 12 como 8 es a 0. Por eso si, como quería Aristóteles, los movimientos estuvieran entre ellos en la misma proporción geométrica que la sutilidad [de un medio] con la sutilidad [de otro] tendría razón en concluir que en el vacío no puede haber movimiento en el tiempo; efectivamente el tiempo [del movimiento] en el lleno con el tiempo en el vacío no puede tener [la misma] proporción que la sutilidad del lleno con la sutilidad del vacío, puesto que la sutilidad del vacío es nula. Pero si la proporción de las celeridades no fuera geométrica sino aritmética, no resultaría de ello nada absurdo.

Esto es lo que efectivamente sucede[95].

Por eso en el vacío el móvil se moverá del mismo modo que en el lleno. Ahora bien, en el lleno el móvil se mueve según la proporción del exceso de su gravedad sobre la gravedad del medio en el que se mueve, y del mismo modo, en el vacío, según el exceso de su gravedad sobre la gravedad del vacío; y como ésta es nula, el exceso de la gravedad del móvil sobre la gravedad del vacío será [igual a] su gravedad total; por ello se moverá más rápidamente [que en el lleno] en proporción a su gravedad total. Efectivamente, en ningún lleno podrá moverse tan rápidamente, dado que el exceso de la gravedad del móvil sobre la gravedad del medio será más pequeño que la gravedad total del móvil; por ello su velocidad será igualmente más pequeña...

Las velocidades de los móviles en el vacío no serán por lo tanto ni infinitas —lo que sería absurdo— ni iguales. Serán, al contrario, conformes a sus gravedades específicas: un cuerpo cuya gravedad específica sea 8 caerá a 8 grados de velocidad, y aquél cuya gravedad específica sea 4, a 4. Al contrario, los cuerpos de gravedad específica parecida caerán al mismo tiempo[96].

Pienso que es inútil insistir: el joven Galileo, está muy claro, había abrazado en todos estos detalles la doctrina de Juan Bautista Benedetti[97]. Esta, además, no es nada absurda. Supongamos, en efecto, que la gravedad esté causada por una atracción terrestre, del tipo de la atracción magnética (o simplemente la atracción de los «semejantes» entre sí). No habría,

[95] *Ibid.*, p. 281.
[96] *Ibid.*, p. 283.
[97] Galileo, sin duda, no lo cita, pero la filiación es patente.

pues, nada sorprendente en que algunos cuerpos fueran atraídos por la Tierra más fuertemente que otros —lo que los haría más «pesados»— y que cayeran por esto a velocidades diferentes, oponiendo la misma resistencia interna al movimiento. Diríamos entonces que la masa inerte de un cuerpo y su masa gravitatoria no son iguales [98]. Se me objetará sin duda que, como tampoco Galileo, Benedetti no explica la gravedad por la atracción, sino que la considera como una propiedad natural de los cuerpos, ligada o incluso idéntica a su densidad; lo que es perfectamente exacto. Por eso no he atribuido a Benedetti una teoría atraccional de la gravitación: le he propuesto sólo como ejemplo, para demostrar que no era absolutamente necesario que los cuerpos cayeran en el vacío a la misma velocidad; y que podrían hacerlo muy bien a velocidades diferentes [99]. Se podría añadir además que Benedetti ignoraba la noción de masa inerte, así como la de resistencia interna de los cuerpos a la aceleración e incluso, en el movimiento «natural», la de resistencia *al movimiento* y que por esto no podía distinguir la primera de la masa gravitatoria, ni tampoco identificarla con ella. Lo que una vez más es exacto; y esto justamente es lo que explica por qué haciendo un razonamiento aparentemente idéntico al de Benedetti y al que había hecho él mismo en *De motu*, el Galileo de los *Discursi* (y ya el del *Dialogo*) pudo llegar a una conclusión completamente diferente. En efecto, si no se establece, en el cuerpo que baja, una resistencia *interna* opuesta a la fuerza que actúa sobre él [100], si —como Aristóteles— no se tiene en cuenta más que las resistencias externas y se admite la proporcionalidad simple de las *velocidades con las fuerzas movientes*, sólo hay que ocuparse de la variación de la fuerza motriz. El razonamiento aritmético adquiere entonces todo su valor. La concepción de Benedetti y del joven Galileo se impone entonces necesariamente.

Si al contrario —como lo hace Galileo en el pasaje que he citado antes— se establece, aunque no sea más que implícitamente, una resistencia interna del cuerpo que baja, es decir,

[98] Cf. *supra*, nota 77.

[99] Benedetti, que «explicaba» la aceleración del movimiento de la caída por el engendramiento sucesivo por el grave de nuevos *impetus*, podía admitir que los cuerpos de gravedad específica mayor (más densos) engendraban *impetus* más fuertes.

[100] En el movimiento natural, esta «fuerza» es consustancial al cuerpo. No ocurre lo mismo en los movimientos violentos: por eso los cuerpos oponen una resistencia interna a la fuerza —al motor— que actúa sobre ellos desde fuera.

que se mueve con movimiento natural, a su cambio de estado, *i.e*, a la aceleración; si, por lo demás, se la establece como proporcional a su masa, es decir, a su peso absoluto, se llega inmediatamente, transfiriendo a la resistencia *interna* la relación de proporcionalidad *geométrica* que Aristóteles había establecido para la resistencia *exterior*, a la tesis de la caída simultánea de los graves en el vacío [101]. Además la reintroducción en el esquema dinámico de la proporcionalidad *geométrica* no se detendrá ahí; cuando se estudie, en efecto, la caída de los cuerpos, no ya en el vacío, sino en medios resistentes, es decir, cuando se estudie la acción y el papel de la resistencia exterior, no nos limitaremos a constatar que se traduce por una disminución *aritmética* de la fuerza motriz; más exactamente, no deduciremos una disminución *aritmética* del mismo grado, y por lo tanto parecida para todos los cuerpos, de la velocidad de su movimiento descendiente: se evaluará esta disminución de la fuerza motriz en su relación con la resistencia interna que ha permanecido inalterada, y por esta relación —geométrica— se determinará la velocidad resultante; o, lo que es lo mismo, se la determinará en función de la relación del peso del cuerpo en cuestión, al que se habrá restado el del medio, con su peso absoluto; o lo que es lo mismo, por la relación de su fuerza motriz en el medio con su fuerza motriz absoluta (en el vacío); o, actualizando esto por la relación del peso efectivo (en el medio) con su masa inercial [102]. Por eso volveremos a encontrar, al término de la serie infinita de resistencias continuamente decrecientes, opuestas a los movimientos de los cuerpos que bajan por medios cada vez más raros —en el vacío— una velocidad idéntica, y no ya velocidades diferentes. Pero se la encontrará solamente porque se había partido de ella.

La aserción galileana de la caída simultánea de los cuerpos graves, como nos la han presentado hasta aquí los *Discorsi*, no descansa, nos hemos dado buena cuenta de ello, más que en

[101] Al ser la fuerza motriz y la resistencia interna proporcionales las dos al peso (absoluto) del cuerpo, su relación, es decir, la aceleración es constante. Resulta de ello que g es una constante universal.

[102] La velocidad de un cuerpo de peso específico dado en un medio dado, estará, pues, determinada por la relación (peso del cuerpo — peso del medio): peso del cuerpo; o por la relación del exceso de la potencia sobre la resistencia exterior con la resistencia interior

$$\left(P - \frac{1}{n}P\right) : P = (n-1) : n \text{ o } (F - R_{ext}) : R_{int},$$ cf. *supra*, nota 77.

razonamientos *a priori* y en experimentos imaginarios [103]. Nunca hasta aquí hemos estado ante un experimento real; y ninguno de los datos numéricos que Galileo había invocado expresaba medidas efectivamente aplicadas. Por supuesto no se lo reprocho; me gustaría, por el contrario, reivindicar para él la gloria y el mérito de haber sabido prescindir de los experimentos (de ningún modo imprescindibles como lo demuestra el hecho mismo de haber podido prescindir de ellos) y prácticamente irrealizables con los medios experimentales a su disposición. ¿Cómo en efecto realizar una caída en el vacío antes de la invención de las bombas neumáticas? [104] Y en cuanto a los experimentos en el lleno, ¿cómo medir *exactamente* la ventaja o el rezago insignificantes de los cuerpos lanzados desde lo alto de una torre antes de la invención de los relojes de precisión? [105] ¿Cómo además —y esto a pesar de los métodos ingeniosos que nos expone— [106] hacer una medición exacta del peso o de la densidad del aire? Pues si no hubieran sido *exactos* —Galileo lo sabe tan bien o mejor que cualquiera— no habrían tenido más que muy poco valor, o incluso no habrían tenido ninguno.

No se trata por supuesto de olvidar o minimizar la función del experimento. Está claro que sólo el experimento puede darnos los datos numéricos sin los que nuestro conocimiento de la naturaleza es incompleto e imperfecto.

Es cierto también —Galileo lo explica con suficiente claridad— que sólo el experimento puede revelar cuáles de los medios múltiples, todos aptos para producir un cierto efecto, son elegidos efectivamente por él en un caso dado [107]. E incluso

[103] ¿Abandonó Galileo la concepción —benedettiana— del *De motu* porque se había dado cuenta de que no cuadraba con el experimento mucho más que la de Aristóteles? Es posible, y el texto que he citado anteriormente (nota 93) parece indicarlo. Está claro, por otro lado, que el descubrimiento de la conservación del movimiento y la sustitución, como efecto propio y primero de la fuerza motriz, del movimiento por la aceleración (principio de inercia) no podía dejar de forzarle a hacerlo.

[104] E incluso después. Por eso, para hacer un experimento real, hubo que esperar un siglo; se lo debemos a Atwood.

[105] Fue un reloj humano el que J. B. Riccioli utilizó para los suyos; cf. mi «Experiment in measurement» (trad. esp. «Un experimento de medición», *infra*, pp. 274-305.

[106] Así (cf. *Discorsi*, pp. 121 ss.), pesar el aire introduciendo un volumen determinado de aire en un odre ya lleno de éste, correspondiendo el excedente del peso al excedente de aire.

[107] El ejemplo de la cigarra del *Saggiatore* es ya clásico. El recurso a la experiencia está fundado en la riqueza misma del matematismo de la ciencia clásica: sobre esto, Descartes no dice nada distinto de Galileo: cf. mi «Galilée et Descartes», *Congrès International de philosophie*, París, 1937.

cuando se trata de leyes fundamentales de la naturaleza —como la de la caída— donde el razonamiento puro basta en principio, es el experimento el único que puede asegurarnos que otros factores, no previstos por nosotros, no vengan a impedir su aplicación y que las cosas se desarrollen en la realidad sensible, *in hoc vero aere,* poco más o menos como se desarrollarían en el mundo arquimediano de la geometría cosificada sobre el que descansan nuestras deducciones. Además, desde un punto de vista que pudiéramos llamar pedagógico, nada sustituye al experimento: él es quien nos ha demostrado la inadecuación de la doctrina aristotélica a la realidad y, tanto como sus contradicciones internas, ha convencido a Simplicio de su falsedad. Y la doctrina galileana de la caída simultánea de los graves es tan nueva, y a primera vista tan contraria a los hechos y al sentido común, que solamente una confirmación experimental podría hacerla aceptable. Sin duda para los espíritus cultivados y libres de prejuicios —representados por Sagredo— los argumentos y los «experimentos» ya alegados por Galileo son suficientes. Pero ¿y para los demás? Para los demás, se necesita otra cosa, a saber, un experimento real.

Por eso no nos asombra demasiado ver cómo Galileo busca una prueba experimental de su doctrina, y no podemos más que admirar la ingeniosidad suprema con que, en la imposibilidad de proceder a un experimento directo, encuentra en la naturaleza un fenómeno que, bien interpretado, y —confesémoslo en su lugar— un poco «corregido», podría servirle de confirmación indirecta. Este fenómeno es el movimiento pendular, cuyo isocronismo había descubierto o creído descubrir[108]:

SALVIATI: La experiencia consistente en tomar dos cuerpos tan diferentes de peso como se pueda, haciéndolos caer desde cierta altura para observar así si sus velocidades son iguales, presenta alguna dificultad, ya que si la altura es grande, el medio, que bajo la presión del cuerpo que cae se abrirá siendo empujado lateralmente, opondrá un freno mucho mayor al escaso momento de un móvil muy ligero que a la gran fuerza [*violenza*] de uno muy pesado. De este modo, el cuerpo ligero, en un espacio largo, quedará muy retrasado. Y si, por el contrario, la altura es pequeña, se podría muy bien pensar o que no hay diferencia alguna de velocidad, o que es inobservable, en caso de haberla.

[108] *Discorsi,* pp. 128 ss. El isocronismo del péndulo parece estar generalmente admitido a comienzos del siglo XVII; Baliani lo erige incluso en principio. Lo que distingue a Galileo es haber intentado su demostración. Sobre Baliani, cf. S. Moscovici, «Sur l'incertitude des rapports entre expérience et théorie au XVII[e] siècle», *Physis,* 1960.

Es esta la razón que me ha impulsado a repetir muchas veces las *caídas* en alturas muy pequeñas, acumulando así un número suficiente de aquellas diferencias mínimas de tiempo, que tal vez existiesen entre la llegada al suelo del cuerpo más pesado y la llegada del más ligero, de forma que, una vez unidas, dieran un tiempo no sólo observable sino notoriamente observable. Además, para darme la posibilidad de captar movimientos extraordinariamente lentos, en los que la resistencia del medio altera mucho menos el efecto del simple peso, se me ha ocurrido hacer descender a los móviles sobre un plano inclinado, no muy elevado con respecto a la horizontal y sobre el cual, tan bien como en la caída vertical, se podrá ver cómo se comportan los cuerpos con pesos diferentes [109]. Además, y matizando el experimento, he querido eliminar los obstáculos que pudiesen derivarse del contacto de estos móviles con el plano inclinado. Finalmente, he cogido dos bolas, una de plomo y la otra de corcho, siendo aquélla cien veces más pesadas que ésta. Até, después, cada una a dos cordones iguales, muy delgados y de una longitud de cuatro a cinco brazas, colgándolas a cierta altura [110]. Habiendo separado, luego, las dos bolas de la perpendicular, las he dejado que se pusieran en marcha al mismo tiempo; entonces, siguiendo las circunferencias de los círculos descritos por los cordones, sus radios han pasado más allá de la perpendicular, para volver, después, atrás por el mismo lugar. Y repitiendo más de cien veces estas idas y venidas, han demostrado de modo palpable que la bola más pesada se adecua de tal modo al ritmo de la más ligera que ni en cien vibraciones ni tampoco en mil [111] tomaría aquélla la más mínima delantera [*minimo momento*], sino que ambas marchan al mismísimo paso.

La operación descrita manifiesta también la acción del medio, el cual, acarreando algún obstáculo al movimiento, disminuye bastante más [la amplitud de] las oscilaciones del corcho que las del plomo, sin hacerlas, no obstante, más o menos frecuentes. Más aún, si los arcos descritos por el corcho no fuesen más que de cinco o seis grados, mientras que los del plomo, de cincuenta o sesenta, las oscilaciones se producirían en los mismos tiempos.

Simplicio, no sin razón aparente, se encuentra un poco desconcertado por esta demostración de cariz paradójico: ¿cómo,

[109] La sustitución de la caída libre por el movimiento sobre el plano inclinado es uno de los títulos de gloria de Galileo; fue por experimentos sobre el plano inclinado como controló la validez de su ley de la caída; cf. sobre esto mis *Etudes Galiléennes*, II, y mi «Experiment in measurement» (trad. esp. «Un experimento de medición», *infra*, pp. 274-305).

[110] *Discorsi*, p. 128: «... ciascheduna di loro ho attaccata a due sottili spaghetti eguali»; se trata así de un péndulo bifilar, cuya invención, atribuida normalmente a la *Accademia del Cimento*, debe ser restituida a Galileo.

[111] Podemos preguntarnos si Galileo ha observado verdaderamente *mil* oscilaciones de su péndulo.

en efecto, se puede decir que las dos bolas se mueven a la misma velocidad cuando, en los mismos tiempos, una describe un arco de cinco grados y la otra de sesenta? ¿No está claro que la bola de plomo va mucho más deprisa? Sin duda. Pero esta velocidad mayor no tiene nada que ver con la pesadez de la bola, por lo menos directamente; está en función de la altura de la que baja; la prueba es que se pueden invertir los papeles, es decir, hacer describir a la bola de corcho un arco de 50 grados y a la de plomo uno de 5: lo harán en el mismo tiempo, al igual que describirán en el mismo tiempo arcos iguales —ya sean de cinco o cincuenta grados— a lo largo de los cuales se las hará bajar. Por eso Salviati responde [112]:

Pero, ¿qué diríais, señor Simplicio, si los dos realizaran su viaje al mismo tiempo cuando el corcho, apartado de la perpendicular en treinta grados, tuviera que atravesar un arco de sesenta grados [113] y el plomo, alejado solamente en dos grados del centro de sus oscilaciones, tuviera que recorrer un arco de cuatro grados? ¿No sería, en este caso, más veloz el corcho? Pues bien, es esto último lo que la experiencia nos enseña. Pero tened esto bien presente: apartado el péndulo de plomo de la vertical cincuenta grados, por ejemplo, si lo dejamos caer desde ahí, vuelve a la vertical, sobrepasándola en otros cincuenta grados, más o menos, para describir de este modo un arco de casi cien grados. Volviendo, después, hacia atrás por sí mismo, describe otro arco un poco más pequeño; continúa este vaivén, y después de un gran número de oscilaciones, acaba, finalmente, quedando en reposo. Cada una de tales oscilaciones tiene lugar en tiempos iguales, lo mismo la de los noventa grados como la de cincuenta, de veinte, de diez o de cuatro, de modo que, como consecuencia de ello, la velocidad del móvil va languideciendo continuamente, ya que va recorriendo en tiempos iguales, arcos cada vez más pequeños.

Un efecto parecido, si no igual, se obtiene suspendiendo el corcho de un hilo de la misma longitud, sólo que el corcho llega a estar en reposo después de un número menor de vibraciones, al ser menos capaz, debido a su ligereza, de superar el obstáculo del aire [114]. De cualquier modo, sus oscilaciones, grandes o pequeñas, se hacen en tiempos iguales entre sí e iguales también a los tiempos de las oscilaciones del plomo. De donde se puede concluir, que si el plomo recorre un arco de cincuenta grados y el corcho uno de diez, entonces el corcho es más lento que el plomo. Podrá ocurrir,

[112] *Discorsi*, p. 129.

[113] El arco total de la oscilación.

[114] En la *giornata quarta* de los *Discorsi* (cf. p. 277), ¡Galileo afirmará, curiosamente, que el número de vibraciones de la pelota de plomo y de la de corcho es el mismo!

por el contrario, que el corcho recorra cincuenta grados mientras que el plomo no recorra sino sólo diez o seis, de modo que, en tiempos distintos, el móvil más rápido será unas veces el plomo y otras el corcho. Pero, si los mismos móviles recorren, en tiempos iguales, arcos iguales, se puede afirmar con seguridad que sus velocidades son iguales.

La demostración está acabada[115]; la ley de la caída simultánea de los graves está establecida; las desviaciones observadas en la realidad sensible se explican fácilmente por la resistencia del aire, mayor para los movimientos más rápidos y más fácilmente vencida por los cuerpos pesados que por los ligeros; depende también, por supuesto —lo que siempre se ha sabido—, de la forma de los móviles, más o menos apta para penetrar y dividir el aire ambiente[116]. Depende, en fin, de la textura de

[115] La tesis del isocronismo del péndulo, ya tratada en el *Dialogo* en contextos diferentes, en cuanto movimiento de un péndulo material *(giornata seconda,* p. 257) y en cuanto descenso por la circunferencia de un círculo *(giornata quarta,* pp. 474 ss.) se nos presenta aquí como fundada únicamente en la experiencia. Ocurre lo mismo en la *giornata quarta* de los *Discorsi* (pp. 277 ss.) donde, a las consideraciones que acabo de referir, Galileo añade solamente la reflexión siguiente: siendo proporcional la resistencia del aire a la velocidad del móvil, su acción retardataria sobre los movimientos lentos y rápidos (grandes y pequeñas oscilaciones) será la misma, y por esto no tendrá efecto en la duración de éstas. Pero las *giornata prima* y *quarta* transcurren a nivel puramente popular: por eso están escritas en italiano. La demostración verdadera, es decir matemática, del isocronismo, se encuentra en la *giornata terza;* y está en latín. Se funda en las siguientes proposiciones (T. VI, prop. VI, pp. 221 ss.): 1) El tiempo del descenso de un grave a lo largo del diámetro de un círculo vertical y a lo largo de toda cuerda que pase por su punto más bajo es el mismo; 2) El tiempo de descenso por dos cuerdas sucesivas es menor que el del descenso por una sola. De donde se deduce que el descenso a lo largo de la circunferencia se hace a la velocidad *máxima* y que su tiempo es siempre el mismo. No se puede dejar de admirar la elegancia y el ingenio de la demostración galileana, pues si —como se demostró más tarde— el descenso por la circunferencia no es el más rápido ni se realiza en tiempos iguales —es la cicloide la que posee estos privilegios— no es menos cierto que, para hablar el lenguaje del siglo XVIII, la curva «tautocrona» y la curva «braquistocrona» no son más que una sola curva.

[116] Gracias a la resistencia del aire, los cuerpos que caen a esta Tierra no pueden conformarse completa sino parcial y aproximadamente a la ley matemática de la caída; en efecto: *a)* como consecuencia de la acción hidrostática del aire que «aligera» los cuerpos que en él están inmersos, la masa gravífica no es idéntica a la masa inercial: los cuerpos pesados caen más deprisa que los ligeros; *b)* la resistencia del medio, que crece con la velocidad de aceleración, no es constante sino que va en aumento; el movimiento descendente no es, pues, «uniformemente» sino «disformemente» acelerado, y se transforma, al cabo de un cierto tiempo, en un

su superficie, lisa o rugosa, y en el caso de los que, en este sentido, son parecidos, de su volumen. La resistencia mecánica está, efectivamente, en función de la relación de la superficie del cuerpo con su peso; ahora bien, esta relación es menor en los cuerpos grandes que en los pequeños, y eso es lo que explica —cuestión que Sagredo había planteado algún tiempo antes, y a la que vuelve ahora— por qué una bala de cañón cae más deprisa que una bala de mosquete. El peso del cuerpo, una vez más, no tiene nada que ver con eso.

Se podría sostener que el isocronismo del péndulo, sobre el que Galileo insiste tanto, no es necesario para su demostración, y que basta constatar que las dos bolas, de plomo y corcho, salidas de una altura igual, llegan abajo de su carrera, *i.e.* a la perpendicular, en tiempos iguales. Lo que sin duda es correcto [117]. Pero, para Galileo, el isocronismo en cuestión representa no sólo un gran descubrimiento del que está, con razón, muy orgulloso; representa también uno de esos casos rarísimos en que la coincidencia de la teoría y de la experiencia es casi perfecta; representa además un medio: *a)* de eliminar en la medida de lo posible los efectos perniciosos de las causas secundarias (aquí la resistencia del aire) que alteran los de los factores primarios que se quieren estudiar, y *b)* de hacer observables, por su acumulación, los pequeños efectos que tomados aisladamente no podrían ser constatados. Ahora bien, indiscutiblemente, eso es algo de suma importancia, un perfeccionamiento capital, que no sería exagerado llamar revolucionario, de la técnica experimental, perfeccionamiento que supera con mucho el que Galileo había desarrollado sustituyendo la caída

movimiento uniforme. Por esto mismo, existe, para cada medio, y sobre todo para el aire, una velocidad *máxima* que el cuerpo en caída libre no puede sobrepasar, sea cual fuere la altura de la que caiga y el tiempo que dure su bajada. Puede, sin embargo, ser sobrepasada por medios artificiales, como por ejemplo las balas de nuestros cañones. Por eso Galileo llama a las velocidades de estos últimos velocidades *sobrenaturales* (cf. *Discorsi,* pp. 275-278).

Es bastante curioso constatar que la física galileana, sustituyendo el movimiento por la aceleración y transfiriendo la resistencia al cambio del exterior al interior del móvil, se encuentra en condiciones de aceptar las consecuencias que, en la física aristotélica, conducían a absurdos (cf. nota 13); especialmente: *a)* que toda fuerza, por mínima que sea, aplicada a una resistencia (inercial) por grande que sea, produce un movimiento, y *b)* que de la igualdad entre la potencia y la resistencia resulta un movimiento cuya velocidad es igual, es decir, constante.

[117] Más exactamente, sería correcto... si lo hicieran.

libre por la caída en el plano inclinado. Por eso se comprende el valor que le atribuye, y el deseo que tiene de ponerlo en práctica.

Pero, ¿de hecho esta coincidencia entre teoría y práctica es real? En otros términos, ¿la experiencia podía demostrar el isocronismo del péndulo?, o, por lo menos, confirmar su demostración teórica? Desgraciadamente no podía hacerlo, pues el péndulo no es isócrono, como Mersenne pudo constatar *por experiencia* (y Huygens demostrar teóricamente): Ahora bien, si los métodos empleados por Mersenne son diferentes de los de Galileo, y más precisos que los suyos [118], no es menos cierto que la diferencia entre la duración de las grandes y pequeñas oscilaciones es bastante sensible y que por consiguiente no podía dejar de revelarse en los que Galileo había realizado [119]. ¿Qué hace entonces? «Corrige» el experimento, lo prolonga en su imaginación, y suprime la diferencia experimental. ¿Se equivocó al hacerlo? En modo alguno. Pues no es siguiendo la experiencia, sino adelantándose a ella como progresa el pensamiento científico.

Lancemos ahora una ojeada atrás. A lo largo de este trabajo, hemos intentado caracterizar la dinámica aristotélica por su axioma fundamental: la velocidad de un cuerpo en movimiento es directamente proporcional a la fuerza motriz e inversamente proporcional a la resistencia ($V = F : R$) y por esto, una fuerza constante, en un medio constante, produce un movimiento uniforme. Nosotros le hemos opuesto el axioma fundamental de la dinámica clásica, según la cual al conservarse el movimiento en el móvil, una fuerza constante produce un movimiento no ya uniforme sino acelerado. Hemos seguido a través de Benedetti y el joven Galileo la crítica de la dinámica aristotélica, crítica que al pasar por la sustitución del esquema de Aristóteles ($V = F - R$) por el esquema arquimediano, llega finalmente al esquema: aceleración proporcional a la fuerza motriz... e inversamente proporcional a la resistencia (interna y externa): $A = F : R$, o $A = F : R_i + R_e$. Fórmula cuya analogía con la de Aristóteles no podría escapársele a nadie.

[118] Cf. mi «Experiment in measurement» (trad. esp. *infra*, pp. 274-305).

[119] O *las diferencias*, pues la falta de isocronismo de las grandes y pequeñas oscilaciones va acompañada del rezago del corcho con respecto al plomo.

Pero miremos desde más cerca, o desde más arriba; y no es una analogía, es una identidad formal lo que encontraremos entre estas dos fórmulas. Efectivamente, la segunda deriva de la primera por una adición y una sustitución: la adición de la resistencia interna a la resistencia externa; la sustitución del movimiento por la aceleración. La adición de la resistencia interna a la del medio exterior, no cambia la estructura de la dinámica de Aristóteles: puede considerarse incluso implicada en ella. Por eso la dinámica de Kepler, es en su más profunda inspiración, una dinámica aristotélica[120]: en ella la velocidad es siempre proporcional a la fuerza, y una fuerza constante produce un movimiento uniforme. La sustitución del movimiento por la aceleración es, al contrario, una conmoción total; no se trata ya de una modificación de la dinámica antigua; se trata de su sustitución por otra.

Y sin embargo... ¿Por qué Aristóteles presentaba el movimiento (o la velocidad) como proporcional a la fuerza motriz? Porque lo concebía como un cambio, κίνησις, un proceso en el que el móvil no está nunca en el mismo estado *(semper aliter et aliter se habet)* y porque todo cambio exige la postulación de una causa e incluso de una causa proporcional a su efecto. De donde, necesariamente, se deduce la proporcionalidad del movimiento con la causa motriz y su interrupción en ausencia de ésta. No hay, ni puede haber, movimiento sin motor: *sine causa non est effectus*, y *cessante causa, cessat effectus.*

La física galileana, la física clásica, no concibe ya el movimiento como cambio, sino —por lo menos cuando es uniforme— como un verdadero «estado»[121]. Por eso puede perdurar y conservarse sin «causa»: privado o separado del motor, el móvil proseguirá, pues, su movimiento. Al contrario, la aceleración es un cambio; efectivamente, el móvil no permanece en el mismo estado; *se habet aliter et aliter*. Por eso la aceleración exige una «causa» o una «fuerza» estrictamente proporcional a sí misma; y deja de producirse cuando cesa la acción de ésta. *Sine causa non est effectus, cessante causa quidem cessat effectus.*

Por eso al sustituir en nuestras fórmulas los términos relativos concretos, V y A, velocidad y aceleración, por un término más abstracto y más esencial, κ (κίνησις), obtendremos, tanto

[120] Para Kepler, en efecto, el movimiento se opone al reposo como la luz a las tinieblas; cf. mis *Études galiléennes*, III.

[121] Aun no empleando el término, que es debido, como se sabe, a Descartes.

para Galileo como para Aristóteles: $x = F : R$. Lo que, desde el punto de vista filosófico, me parece que es un resultado profundamente satisfactorio.

APÉNDICE

En las páginas precedentes he intentado describir el uso hecho por Galileo del método del experimento imaginario, empleado simultáneamente, e incluso con preferencia, al experimento real. Y justificarlo. Efectivamente, es un método extremadamente fecundo, que, al encarnar en cierto modo en objetos imaginarios las exigencias de la teoría, permite concretar esta última y comprender lo real sensible como una desviación del modelo puro que nos ofrece [122]. Hay que confesar, sin embargo, que no está exento de peligro y que la tentación de la concreción a ultranza, a la que se sucumbe bastante fácilmente, juega algunas veces pasadas bastante molestas, y conduce a afirmaciones que la realidad se obstina en desmentir. ¡Desgraciadamente, hay que advertir que Galileo no evitó siempre este peligro!

No voy a enumerar todos los casos en que el gran florentino sucumbió a la tentación. Me limitaré a citar dos ejemplos, bastante sorprendentes los dos.

I. En la «digresión» hidrostática [123] —que corta el desarrollo de la teoría de la caída y que por eso mismo no he analizado en el cuerpo de este trabajo— Sagredo refiere cómo poniendo sal en un recipiente de vidrio antes de llenarlo de agua (conteniendo entonces el recipiente agua salada, más pesada, abajo, y agua dulce, más ligera, arriba) logró mantener en equilibrio en él, sumergida a media altura, una bola de cera aumentada de peso por unos granos de plomo, y provocar así el asombro de sus amigos. Salviati, yendo todavía más lejos, expone cómo, añadiendo al líquido contenido en el recipiente agua salada, o agua dulce, se puede hacer subir y bajar la bola, y sin duda, provocar así un asombro aún mayor. Tras lo cual, basándose en el hecho (?) de que se pueden producir los mismos efectos añadiendo cuatro gotas de agua caliente a seis litros de agua fría —o inversamente— concluye que el agua no posee ninguna viscosidad y no ofrece ninguna resistencia (que no sea mecánica) a la penetración o a la separación de sus partes,

[122] Desempeña así el papel de intermediario entre el pensamiento puro y la experiencia sensible.
[123] *Discorsi, giornata prima*, pp. 113 ss.

y que los filósofos que enseñan lo contrario se equivocan totalmente. Sagredo está de acuerdo. Sin embargo, si es así, pregunta, ¿cómo es posible que se formen gotas de agua, incluso de dimensiones bastante considerables, en las hojas de las coles y que el agua permanezca unida en vez de escurrirse y dispersarse? Salviati confiesa que no puede explicarlo. Está seguro, sin embargo, de que es efecto de una causa externa y no de una propiedad interna, y ofrece de ello una prueba experimental «muy eficaz».

En efecto [124],

si las partes de esa gota de agua que se sostiene alzada mientras está rodeada de aire tuvieran una razón interna para obrar así, con mucha mayor razón se sostendrían si se tuvieran rodeadas por un medio en el que tuvieran menos propensión a descender que en el aire que las envuelve. Ahora bien, un medio tal sería cualquier fluido más pesado que el aire, como, por ejemplo, es el vino. Se podría, pues, echar vino alrededor de aquella gota de agua, sumergiéndola con la elevación cada vez mayor del nivel del vino sin que las partes del agua, aglutinadas por la viscosidad interna, tuvieran que disociarse. Ahora bien, no es esto lo que en este caso ocurre, sino todo lo contrario: apenas el vino que se ha vertido toque la gota de agua, ésta, sin esperar que suba mucho su nivel, se disolverá y se extenderá, quedando debajo del líquido que se le ha echado si es éste vino tinto. La causa buscada es, pues, externa y tal vez haya que achacar tal efecto al aire que lo rodea.

En realidad, se observa, entre el aire y el agua, un gran desacuerdo, cosa que he constatado a través de otra experiencia. Se trata de lo siguiente: si lleno de agua un globo de cristal en el que se ha hecho un agujero tan pequeño como el grosor de una paja, y si, una vez lleno, lo vuelvo con el agujero hacia abajo, el agua, a pesar de su peso y prontitud para descender en el aire, y el aire, igualmente dispuesto a elevarse en el agua dada su extrema ligereza, no se ponen de acuerdo, la una para caer, saliendo por el orificio, y el otro para subir, entrando por el mismo. Por el contrario, permanecen, más bien, los dos hostiles y desconfiados. Si presento, por el contrario, a aquel orificio un vaso con vino tinto, que es en una medida casi insensible más ligero que el agua, lo veremos inmediatamente elevarse lentamente a través del agua en forma de trazos rojizos, mientras que el agua, con la misma lentitud, descenderá por el vino sin mezclarse hasta que el globo esté completamente lleno de vino, por lo que el agua caerá toda al fondo del vaso colocado debajo. Por todo ello, ¿qué otra cosa decir, que se pueda concluir de lo dicho, sino que hay una incompatibilidad entre el agua y el aire, misteriosa para mí, aunque tal vez...?

[124] *Ibid.*, pp. 115 ss.

Confieso que comparto la perplejidad de Salviati. Es efectivamente difícil proponer una explicación del sorprendente experimento que acaba de referir. Tanto más cuanto que si se hiciera de nuevo *tal como lo describe,* veríamos subir el vino al recipiente de cristal (lleno de agua) y el agua bajar al vaso (lleno de vino); pero no veríamos el agua y el vino sustituirse pura y simplemente uno a otro: veríamos producirse una mezcla [125].

¿Qué hay que concluir? ¿Hay que admitir que los vinos (tintos) del siglo XVII poseían cualidades que no poseen ya los vinos de hoy, cualidades que los hacían inmiscibles con el agua, como lo es aún el aceite? ¿O podemos suponer que Galileo, que sin duda no había puesto nunca agua en su vino —el vino era para él «la encarnación de la luz del sol»— no hizo nunca este experimento, sino que, habiendo oído hablar de él, lo reconstituyó en su imaginación, admitiendo como algo indudable la incompatibilidad esencial y total del agua y del vino? Por mi parte, creo que esta última suposición es la buena.

II. El hecho de que la resistencia del medio al movimiento del móvil no tenga valor constante, sino que aumente en función de la velocidad de este movimiento y lo haga proporcionalmente a ésta comporta una serie de consecuencias de cariz paradójico, que Salviati tiene mucho gusto en exponer a sus interlocutores [126],

afirmando sin rastro alguno de duda, que no hay esfera tan grande ni de materia tan pesada que la resistencia del medio, por muy penetrable que sea, no frene su aceleración, reduciéndola a la larga a un movimiento uniforme. La experiencia misma nos da una prueba muy clara. Y es que ninguna velocidad que le confiriese un motor externo, podría ser tan grande como para que la rechazara o se desembarazara de ellas gracias a la resistencia del medio. Así, una bala de cañón que cayese por el aire desde una altura, por ejemplo, de cuatro brazas, alcanzando, supongamos, una velocidad de diez grados, y que, a esta misma velocidad, entrase en el agua, si el obs-

[125] Se obtendrían resultados más próximos a la aserción de Salviati si en lugar de hacer en el recipiente de cristal una sola abertura, se hicieran *dos,* añadiéndoles además, a cada una, una paja o un pequeño tubo, uno (A) apuntando al interior del recipiente, el otro (B) hacia el exterior. Se vería entonces brotar del tubo A una raya de vino hacia la parte superior del recipiente y una raya de agua hacia la parte inferior del vaso, acumulándose el vino arriba y el agua abajo. Desgraciadamente, incluso en este caso, habría mezcla; además Salviati provee a su recipiente de *un* orificio y no de *dos;* y no le añade paja alguna.

[126] *Discorsi, giornata prima,* pp. 136 ss.

táculo del agua fuese impotente para evitar el impulso de la bala, ésta la acrecentaría o, al menos, la mantendría hasta el fondo.

No es esto, sin embargo, lo que vemos que ocurre; vemos, por el contrario, que el agua, aunque sólo tuviera algunas brazas de profundidad, la frena y debilita de tal modo que golpeará suavemente el lecho del río o del lago. Es, pues, evidente que aquella velocidad de la que el agua ha podido despojarla en un recorrido tan breve, no se la dejaría adquirir ni siquiera en una profundidad de mil brazas. ¿Por qué, entonces habría de permitirle adquirirla en mil codos para perderla, después, en sólo cuatro? Más aún, ¿no se ve cómo el enorme ímpetu de la bola, lanzada por el mismo cañón, se debilita al atravesar sólo unas brazas de agua, de modo que, sin ningún perjuicio para el navío, el proyectil apenas llega a golpearlo?

El mismo aire, aunque sea muy sutil, disminuye también la velocidad de caída del móvil, por muy pesado que sea, como podemos comprenderlo bien con las experiencias que siguen. Si disparamos desde la cima de una torre muy alta un tiro de arcabuz en dirección hacia el suelo, la bala tocará tierra con menos fuerza que si descargáramos el arcabuz desde una altura de cuatro o seis brazas solamente; lo cual muestra con evidencia que el impulso con el que partió la bala desde el cañón, descargado en lo más alto de la torre, ha ido disminuyendo al descender a través del aire. Se sigue de aquí, que la caída desde una altura cualquiera, por grande que sea, no es suficiente para comunicar aquella velocidad, de la que se ve privada por la resistencia del aire cuando, de una u otra manera, se la había conferido.

Del mismo modo, el destrozo que causará en una muralla una bala, disparada por una culebrina desde una distancia de veinte brazas, no creo que lo hiciese cayendo verticalmente desde cualquier distancia, por inmensa que ésta sea. Pienso, por todo ello, que hay un límite para la aceleración de todo móvil natural que parta del estado de reposo, y que el obstáculo que opone el medio acaba por reducirlo a un movimiento uniforme, en el que ha de mantenerse ya siempre.

El largo pasaje que acabo de citar nos ofrece un bello ejemplo del pensamiento de Galileo en la obra y en la acción: Potencia... e imprudencia; uso... y abuso de la imaginación. ¿Qué hay más bello y profundo que las consideraciones que le llevan a afirmar que el movimiento acelerado de la caída no sigue ni puede seguir más que *en el vacío* la ley matemática que ha establecido para él, y que en cualquier otro medio se aleja y se transforma finalmente en un movimiento uniforme que tiene una velocidad determinada por la naturaleza del cuerpo que baja y del medio ambiente (relación de peso), velocidad que, por esto, podría llamarse «velocidad natural» de este cuerpo en el medio en cuestión? ¿Qué hay más ingenioso que

el razonamiento que nos demuestra la imposibilidad, para un cuerpo dado que penetra en un medio determinado, de sobrepasar en éste su «velocidad natural» y reconquistar la superior, de la que estaba animado antes de penetrar en él y de la que le priva el medio al aminorar su movimiento? ¿Qué hay más sorprendente que los experimentos que ilustran y —según Galileo— aportan una prueba experimental a su tesis?

Y, sin embargo, si es indiscutible que los cuerpos caen en el aire más rápidamente que en el agua y que al pasar de uno a otra aminoran su movimiento, ¿podemos elevar esta observación a ley general, y decir que al pasar de un medio más raro a un medio más denso, un cuerpo en caída libre disminuye su movimiento? ¿No se podría entonces de la imposibilidad de tal paso llegar a la conclusión de la necesidad de la detención? Efectivamente, en el ejemplo —o «experimento»— de Galileo, podríamos dejar caer la bala no de cuatro brazas, sino de una, media, un cuarto... y adquirir así, a lo largo de su recorrido en el aire, no diez grados de velocidad, sino cinco, uno, medio y así sucesivamente hasta el infinito. Si la velocidad en el agua debiera ser siempre inferior a la velocidad en el aire, acabaría por ser infinitamente pequeña y por llegar a cero. ¿Cómo entonces un cuerpo grave, de plomo o de oro, podría adquirir en el agua su «velocidad natural»? ¿No está claro que —cosa sorprendente— Galileo confunde «velocidad» y «aceleración»; y que —cosa más sorprendente aún— en su ejemplo de la bala de cañón detenida por algunas brazas de agua, olvida la diferencia que hay entre el efecto del choque y el de la resistencia hidrostática, efectos que en otras partes distinguió tan bien? Y por otro lado, si es absolutamente cierto que la velocidad, y por lo tanto el *impetus*, de una bala de cañón no es en ningún sitio tan grande como en el momento en que sale de la boca de este último, y que la travesía de 20 brazas de aire basta para aminorar su movimiento, si es igualmente cierto que una bala, lanzada verticalmente al aire, a la altura que suba y por lo tanto desde la que caiga, no podrá nunca volver a tierra a su velocidad de salida, ¿se puede de esto sacar la conclusión que saca Galileo, a saber, que la velocidad (y por lo tanto el *impetus*) de esta bala, sea cual fuere la altura de la que caiga, incluso si esta altura es varias veces mayor que la que puede alcancar al ser *lanzada* en vertical, no será nunca igual a la velocidad con que sale de la boca del cañón? Está claro que no se puede. Sin embargo, Galileo lo hace. ¿Por qué? Porque cree que la velocidad de la bala de la culebrina es una velocidad «sobrenatural» y que sobrepasa con mucho la que podría

alcanzar un grave en caída libre, incluso si cayera de la Luna [127]. ¿Y cómo demuestra el carácter sobrenatural de la velocidad de la bala? Pues, justamente, por la experiencia del tiro diri-

[127] *Ibid., giornata quarta*, pp. 275 ss.: «Quanto poi al perturbamento procedente d'all'impedimento del mezo, questo è più considerabile, e, per la sua tanto moltiplice varietà, incapace di poter sotto regole ferme esser compresso e datone scienza; atteso che, se noi melteremo in considerazione il solo impedimento che arreca l'aria a i moti considerati da noi, questo si troverá perturbargli tutti, e perturbargli in modi infiniti, secondo che in infiniti modi si variano le figure, le gravità e le velocità de i mobili. Imperò che quanto alla velocità, secondo che questa sarà maggiore, maggiore sarà il contrasto fattogli dall'aria; la quale anco impedirà più i mobili, secondo che saranno men gravi: talchè, se bene il grave descendente dovrebbe andare accelerandosi in duplicata proporzione della durazion del suo moto, tuttavia, per gravissimo che fusse il mobile, nel venir da grandissime altezze sarà tale l'impedimento dell'aria, che gli torrà il poter crescere più la sua velocità, e la riddurà a un moto uniforme ed equabile; e questa adequazione tanto più presto ed in minori altezze si otterà, quanto il mobile sarà men grave... De i quali accidenti di gravità, di velocità, ed anco di figura, come variabili in modi infiniti, non si può dar ferma scienza: e però, per poter scientificamente trattar cotal materia, bisogna astrar da essi, e ritrovate e dimostrate le conclusioni astratte da gl'impedimenti, servir cene, nel praticarle, con quelle limitazioni che l'esperienza ci verrà insegnando.» [«Por lo que se refiere a las perturbaciones procedentes de la resistencia del medio, es ésta una dificultad más considerable y difícil, dada su multiplicidad de variedades, de someterla a reglas fijas y a una descripción rigurosa. Así, si consideramos solamente la resistencia que ofrece el aire a los movimientos hasta el momento estudiados, vemos que llega a perturbarlos a todos y los perturba en una variedad infinita de modos, como infinitos son los modos en que varían las figuras, los pesos y las velocidades de los móviles. Por lo que atañe a la velocidad, a medida que ésta sea mayor, mayor también será la resistencia ofrecida por el aire; esta oposición crecerá a medida que los móviles sean menos pesados, de forma que si bien el cuerpo que desciende debería recorrer, con movimiento acelerado, un espacio proporcional al cuadrado de la duración de su movimiento, no obstante, por muy pesado que sea tal móvil, si cae desde una altura muy considerable, será tal la resistencia que sobre él ejerza el aire que le impedirá que vaya incrementando su velocidad hasta reducirlo a un movimiento uniforme e igual. Esta uniformidad se alcanzará tanto más rápidamente y en menor altura cuanto menos pesado sea el móvil. Por lo que se refiere al movimiento en el plano horizontal, aquel movimiento que debería ser uniforme y constante si no se le ofreciera resistencia alguna, es alterado por la oposición del aire hasta llegar a dejar quieto al móvil de que se trate; y una vez más: tanto más rápidamente ocurrirá esto cuanto más ligero sea el móvil. De estas propiedades, como son el peso, la velocidad y también la forma, al variar en modo infinito, no se puede tratar científica y rigurosamente. Con todo, si queremos proceder así, no tenemos más remedio que abstraer tales aspectos y una vez que hemos encontrado y demostrado dichas conclusiones que prescinden de las resistencias, servirnos de aquéllas, aplicándolas a la experiencia con las limitaciones que ésta nos imponga.»]

gido hacia abajo: la bala de cañón o la bala de arcabuz disminuyen de velocidad al recorrer, de arriba abajo, la altura de la torre. Lo que no ocurriría si su velocidad de salida fuera menor que la velocidad límite de la caída.

Es que —Galileo no nos lo dice, pero es fácil suplir su silencio— ésa es la condición de validez del razonamiento según el cual, la resistencia del agua retrasa irremediablemente la bala que cae allí; y la del aire, la bala de arcabuz que se lanza hacia abajo [128]. Efectivamente, en el vacío —donde la velocidad de caída no conoce límite— una bala lanzada hacia abajo no se retrasaría; al contrario, a su velocidad inicial se añadiría continuamente la de la aceleración normal de la caída. Y ocurriría lo mismo o casi lo mismo, si en lugar de lanzarla hacia abajo a la velocidad «sobrenatural» que le confiere la deflagración de la pólvora, nos limitáramos a lanzarla a la que pueden darle los brazos: pongamos, por ejemplo, 10 brazas por segundo. Está claro que la resistencia del aire —proporcional a esta debilísima velocidad, y por lo tanto casi nula—, no podría impedirle

[128] *Ibid.*, pp. 278 ss.: Los proyectiles de las armas de fuego, explica Salviati, deben colocarse en una categoría diferente de la de las balistas, las flechas de los arcos, etc., a consecuencia de «l'excessiva e, per via di dire, furia sopranaturale con la quale tali proietti vengono cacciati; chè bene anco fuora d'iperbole mi par che la velocità con la quale vien cacciata la palla fuori d'un moschetto o d'una artiglieria, si possa chiamar sopranaturale. Imperò che, scendendo naturalmente per l'aria da qualche altezza immensa una tal palla, la velocità sua, merce del contrasto dell'aria, non si andrà accrescendo perpetuamente: ma quello che ne i cadenti poco gravi si vede in non molto spazio accadere, dico di ridursi finalmente a un moto equabile, accaderà accora, dopo la scesa di qualche migliara di braccia, in una palla di ferro o di piombo; e questa terminata ed ultima velocità si può dire esser la massima che naturalmente può ottener tal grave per aria: la qual velocità io reputo assai minor di quella che alla medesima palla viene impressa dalla polvere accesa». [«La razón de esto estriba en la excesiva y, por decirlo de alguna manera, supranatural violencia con la que son lanzados aquellos proyectiles; ciertamente, se puede decir sin exageración, pienso yo, que la velocidad con la que se lanza el proyectil con un mosquete o con una pieza de artillería, es supranatural. Y es que si dicho proyectil desciende por el aire de modo natural desde una altura considerable, su velocidad, debido a la resistencia que opondrá al aire, no seguirá aumentando indefinidamente; por el contrario, lo mismo que vemos que ocurre en los cuerpos poco pesados cuando caen a lo largo de una distancia no muy grande —es decir, que su movimiento acaba siendo uniforme—, sucederá también con una bola de hierro o de plomo después de que haya descendido a lo largo de algunos miles de codos. Esta velocidad límite final se puede decir que es la máxima que naturalmente puede obtener dicho cuerpo: tal velocidad estimo que es bastante menor que la que se le ha imprimido a la misma bola por medio de la ignición de la pólvora.»]

llegar a tierra a una velocidad mayor que la inicial; y también mayor que la que habría alcanzado en caída libre. Ahora bien, la experiencia prueba que en realidad es retrasada. Por eso demuestra así la velocidad «sobrenatural» de la bala de arcabuz y de la bala de culebrina.

He dicho: la experiencia prueba... pero, no es *prueba,* sino *probaría,* lo que habría debido decir. Probaría... si se hiciera. Pues tal como Galileo lo confiesa honradamente en la *giornata quarta* de estos mismos *Discorsi,* de los que he citado ampliamente la *prima,* él no lo hizo [129]. Pero está seguro del resultado. Se le comprende sin esfuerzo: lo que debe suceder, sucede; y lo que no puede suceder, no sucede. Ahora bien, la velocidad de la caída de un grave —aunque cayese de la Luna— no puede sobrepasar, como se ha visto, un cierto límite. El retraso de la bala es el resultado. La experiencia no puede más que confirmar la deducción.

Galileo, lo sabemos bien, tiene razón. La buena física se hace *a priori.* Debe, sin embargo, como acabo de decir, evitar el defecto —o la tentación— de la concreción a ultranza y no dejar a la imaginación tomar el lugar de la teoría.

[129] *Ibid.,* p. 279: «Io non ho fatto tale esperienza, ma inclino a credere che una palla d'archibuso o d'artiglieria, cadendo da un'altezza quanto si voglia grande, non farà quella percossa che ella fa in una muraglia in lontananza di poche braccia, cioè di cose poche, che'l breve sdrucito, o vogliam dire scissura, da farsi nell'aria non basti a levar l'eccesso della furia sopranaturale impressagli del fuoco». [«Yo no he realizado tal experimento, pero estoy convencido de que una bala de arcabuz o de artillería, cayendo de una altura todo lo elevada que se quiera, no producirá un golpe tan fuerte como el que produciría si se disparara contra una pared desde una distancia de pocos codos; es decir, desde una distancia tan corta que la pequeña hendidura, o mejor, la división que se hace en el aire no sea lo suficientemente grande como para quitar al tiro el exceso de la violencia supranatural que el fuego de la artillería le hubiera imprimido.»]

TRADUTTORE-TRADITORE: A PROPÓSITO DE COPÉRNICO Y GALILEO *

La traducción de obras clásicas de la filosofía y de la ciencia del pasado, es necesaria. E incluso indispensable. Siempre que, sin embargo, estas traducciones sean correctas y exactas. Pues, si no lo son, si además son utilizadas sin crítica por historiadores de fama que las revisten así de su autoridad, su existencia puede tener consecuencias lamentables. Efectivamente, el error es peor que la ignorancia. Pero si la traducción de un texto cualquiera es ya una empresa bastante difícil, la traducción de obras científicas que pertenecen a una época distinta a la nuestra comporta un riesgo suplementario y bastante grave, el de sustituir, involuntariamente, por *nuestras* concepciones y *nuestros* hábitos mentales, aquéllas, completamente distintas, del autor.

Este peligro no es en absoluto imaginario. Muy al contrario, excelentes eruditos han sucumbido ante él. Así, hace unos diez años, cuando yo mismo luchaba contra el texto del *De revolutionibus,* de Copérnico [1], constaté, no sin estupor, que el autor de la excelente traducción alemana de la inmortal obra del gran astrónomo había titulado su trabajo [2]: *Ueber die Kreisbewegungen der Himmelskörper*, lo que quiere decir: *De los movimientos circulares de los cuerpos celestes.* Ahora bien, el título del libro de Copérnico es: *De revolutionibus orbium coelestium,* lo que quiere decir: *De las revoluciones de los* orbes *celestes.*

Está claro que el sabio alemán no *modificó* deliberadamente el título de Copérnico. Está claro que pensaba traducir exactamente. Pero al no creer en la existencia de *orbes* celestes (Copérnico sí creía en ella) involuntariamente, y sin darse cuenta,

* Tomado de *Isis,* 1943, vol. XXXIV, núm. 95, pp. 209-210.

[1] N. Copernic, *Des révolutions des orbes célestes,* libro I, París, 1934.

[2] Nicolaus Copernicus aus Thorn, *Ueber die Kreisbewegungen der Weltkörper,* übersetzt... von Dr. C. L. Menzzer..., Thorn, 1879.

sustituyó *orbe* por *cuerpo*, y así desvirtuó toda la interpretación de la obra de Copérnico.

Un feliz azar —el azar hace bien las cosas— acaba de hacerme descubrir un error análogo e incluso más grave aún, pues esta vez se trata de Galileo.

Efectivamente, la traducción inglesa de los *Discorsi e dimostrazioni matematiche in torno a due nuove scienze*, que se titula por lo demás *Dialogues concerning two new sciences*[3], da, al principio de la *tercera jornada*, la traducción siguiente:

My purpose is to set forth a very new science dealing with a very ancient subject. There is in nature perhaps nothing older than motion, concerning which the books written by philosophers are neither few nor small; nevertheless, I have discovered by *experiment*[4] some properties of it which are worth knowing and which have no hitherto been observed or demonstrated. Some superficial observations have been made, as, for instance, that the free motion of a heavy falling body is continuously accelerated; but to just what extent this acceleration occurs has not yet been announced; for so far as I know, no one has yet pointed out that the distances traversed during equal intervals of time, by a body falling from rest, stand to one another in the same ratio as the old numbers beginning with unity.

It has been observed that missiles and projectiles describe a curved path of some sort; however, no one has pointed out the fact that this path is a parabola. But this and other fact, not few in number or less worth knowing, I have succeeded in proving; and what I consider more important, there have been opened up to this vast and most excellent science, of which my work is merely the beginning, ways and means by which other minds more acute than mine will explore its remotest corners.

Ahora bien, el texto de Galileo (*Discorsi e dimostrazioni, Giornata terza, Opere*, Ed. Naz., vol VIII, p. 190) dice:

De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. Motu nil forte antiquius in natura et circa eum volumina nec pauca nec parva a philosophis conscripta reperiuntur; symptomatum tamen quae complura et scitu digna insunt in eo, adhuc inobservata, necdum indemonstrata, comperio. Leviora quaedam adnotantur, ut, gratia exempli, naturalem motum gravium descendentium continue accelerati; verum, iuxta quam proportionem eius flat acceleratio, proditum hucusque non est; nullus enim, quod sciam, demonstravit,

3. *Dialogues concerning two new sciences*, by Galileo Galilei, translated from the Italian and Latin into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio, Nueva York, 1914.

4 Subrayado por mí.

spatia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu proiecta lineam qualitercunque curvam designare: veruntamen, eam esse parabolam, nemo prodidit. Haec ita esse, et alia non pauca nec minus scitu digna, a me demonstrabuntur, et, quod pluris faciendum censeo, aditus et accessus ad amplissimam praestantissimamque scientiam, cuius hi nostri labores erunt elementa, recludetur, in qua ingenia mea perpicaciora abditores recessus penetrabunt.

No voy a emprender aquí la crítica de la traducción de Crew y de Salvio. Me basta con señalar que no sólo Galileo no dice haber descubierto las propiedades de la caída y del tiro por *experimentos*, sino que él no emplea el término experimento (*experimentum*). Ha sido añadido pura y simplemente por el traductor, que, visiblemente partidario de la epistemología empirista, no podía imaginarse que se pudiera demostrar o descubrir algo sino a través de un *experimento*. Por eso allí donde Galileo dice *comperio*, él describe «discovered *by experiment*», anexionando así a Galileo a la tradición empirista y tergiversando de este modo, irremediablemente, su pensamiento.

No es de extrañar que la leyenda de un Galileo empirista y experimentador esté tan firmemente establecida en América. Pues, desgraciadamente, los historiadores americanos, incluso los mejores, citan a Galileo, o por lo menos los *Discorsi*, a partir de la traducción inglesa.

ACTITUD ESTÉTICA Y PENSAMIENTO CIENTÍFICO *

Panofsky no me censurará, espero —es más o menos el único reproche que le dirigiré al ilustre historiador—, que le diga que se equivocó al dar a su estudio el título de *Galileo como crítico de arte*[1]; título muy estrecho que no deja ni siquiera sospechar el verdadero tema y, por tanto, la importancia y el interés capital de su notable trabajo. Habría debido, por lo menos, ponerle un subtítulo: *Actitud estética y pensamiento científico en Galileo Galilei.*

En efecto, Panofsky no se limita a informarnos sobre los gustos, preferencias, juicios de Galileo en materia de literatura y artes plásticas, ni siquiera a darnos un análisis —extremadamente detallado y profundo— de la actitud estética de Galileo, para demostrar su unidad y coherencia perfectas: hace mucho más. Nos muestra la concordancia rigurosa entre la actitud estética y la actitud científica del gran florentino, y de este modo logra no sólo proyectar una luz singularmente viva sobre la personalidad y la obra de Galileo, sino incluso anticipar la solución de la *quaestio vexata* de sus relaciones, personales y científicas, con Kepler.

Las ideas artísticas de Galileo, sus gustos y preferencias literarias, no son desconocidas: se sabe, por ejemplo, que tuvo una gran admiración por Ariosto y una aversión profunda por Torcuato Tasso. Pero no se toman en serio, quizá porque la carta a Cigoli (del 26 de junio de 1612), en la que expone sus concepciones estéticas, carta que sólo nos ha sido conservada en una copia del siglo XVII, ha pasado durante mucho tiempo y pasa aún por apócrifa. Si en cambio, como Panofsky, se la considera auténtica —y por sus excelentes demostraciones no creo que se pueda hacer de otro modo—, si además recorda-

* Artículo aparecido en *Critique*, septiembre-octubre de 1955, pp. 835-847.

[1] Erwin Panofsky, *Galileo as a critic of the arts*, La Haya, Martinus Nijhoff, 1954. In-4.º, 41 pp. + 16 láminas.

mos que Galileo no varió nunca en sus opiniones y su actitud estética, no podremos desecharlas como algo de poca importancia. Al contrario, tendremos que tenerlas en cuenta y examinarlas con tanta atención como respeto. «No podremos explicar sus *Considerationi al Tasso* como un efecto de las condiciones históricas, pues muchas personas honorables tenían en esta misma época puntos de vista diametralmente opuestos. Y no podremos desdeñarlas como un error de juventud inspirado en el más bajo racionalismo de una actitud unilateralmente científica. Realmente, se podría intentar, si esto no fuera invertir completamente los términos de este juicio extraordinario [2], por lo menos transformarlo en una aserción de complementariedad. Si se considera que la actitud científica de Galileo influyó en su juicio estético, puede considerarse igualmente que su actitud estética influyó en sus convicciones científicas. O más exactamente, se podría afirmar que como hombre de ciencia y como crítico de arte, obedeció a las mismas tendencias determinantes» (p. 20).

Ahora bien, estas «tendencias determinantes», tendencias características de la personalidad misma de Galileo, no eran tendencias puramente individuales. Reflejan un movimiento de ideas singularmente mal conocido por los historiadores. Así, para no citar más que a uno de los mayores y más influyentes, H. Wölflin, en sus *Grundbegriffe der Kunstgeschichte* [3] nos presenta el estilo del siglo XVII como una oposición resuelta al del alto Renacimiento; realmente, señala Panofsky, entre 1590 y 1615 aproximadamente se afirma una reacción no contra el alto Renacimiento, sino, al contrario, contra el manierismo de la segunda parte del siglo; reacción que se sentía mucho más próxima al alto Renacimiento, cuyos valores trataba de encontrar, que a sus predecesores inmediatos «que consideraba con la mentalidad de un joven rebelado contra su padre, que, por consiguiente, espera ser ayudado por su abuelo» (p. 15).

«Galileo, nacido en 1564, prosigue Panofsky, era un testigo de esta revolución contra el manierismo, y no es difícil ver de qué lado se ponía. Su amigo Cigoli desempeñaba en Florencia exactamente el mismo papel que los Caracci y Domenichino en Roma. Además, tenía amistad con monseñor Giovanni Battista Agucchi, amigo íntimo de estos últimos, justamente padre de una teoría estética e histórica... según la cual Annibal Caracci,

[2] Es el de N. Leo, «Torquato Tasso», *Studien zur Vorgeschichte del Scicentismo*, Berna, 1951, p. 260.

[3] Munich, 1915.

por su retorno a la enseñanza de los grandes maestros del alto Renacimiento, había salvado el arte de la pintura tanto del naturalismo grosero como del engañoso manierismo, y había logrado hacer una síntesis de la idea y de la realidad en el noble ideal» (p. 16).

Ahora bien, tal como muy pertinentemente nos lo recuerda Panofsky (p. 4), «el gran físico astrónomo había crecido en una atmósfera que fue mucho más humanista y artística que científica. Hijo de un músico y teórico de la música muy conocido, había recibido una excelente educación artística y literaria. Conocía de memoria la mayor parte de los clásicos latinos. No sólo había compuesto él mismo obras poéticas —en el género serio tanto como en el estilo burlesco de su amigo, el satírico Francesco Berni—, sino que también había consagrado varios meses e incluso varios años a una anotación de Ariosto, a quien consideraba que le debía el saber escribir italiano, y a una comparación detallada entre el *Orlando furioso* de éste y la *Gerusalemme liberata* de Tasso»: en realidad, un elogio entusiasta del primero y una crítica mordaz del segundo. Excelente dibujante, «amaba y comprendía con un gusto perfecto todas las artes subordinadas al dibujo», y si hay que creer a sus biógrafos, N. Gherardini y V. Viviani, en su juventud se inclinó más al estudio de la pintura que al de las matemáticas.

Sea o no verdad esta última aserción, lo cierto es que en materia de estética y de arte Galileo no es en modo alguno un aficionado, y no es considerado como tal por sus contemporáneos. Muy al contrario. Por ello, cuando el amigo de Galileo, el pintor Cigoli, se ve envuelto, en Roma, en un debate sobre la superioridad relativa de la pintura o la escultura —tema siempre y desde siempre de moda— es a Galileo a quien pide que le suministre argumentos en favor de su propio arte. Ahora bien, cosa curiosa, las razones invocadas por Galileo son completamente análogas a las que antiguamente hacía valer Leonardo da Vinci, a quien Galileo no conocía y que encuentra de nuevo, automáticamente en cierto modo, porque, al igual que su ilustre precursor, funda sus razonamientos en la superioridad de la visión sobre el tacto, y de la *simbolización* pictórica sobre la *imitación* escultórica.

Pero no es sólo al preferir la pintura a la escultura cuando Galileo se muestra un clásico: es igualmente en sus gustos en el interior del ámbito pictórico. Lo que defiende es la claridad, la ventilación, el buen orden del alto Renacimiento; lo que detesta y combate es el recargamiento, la exageración, las con-

torsiones, el alegorismo y la mezcla de géneros del manierismo. Estas preferencias y estas aversiones de Galileo son las que proyectan una viva luz sobre su crítica de Torcuato Tasso, crítica en la que usa constantemente «imágenes tomadas de las artes visuales» (p. 17). «Cuando leemos sus *Considerationi al Tasso* —escribe Panofsky (*ibid.*)—, comprendemos muy bien que para él la elección entre los dos poetas era no sólo algo de una importancia vital y personal, sino incluso algo que sobrepasaba los límites de una controversia puramente literaria. Para él, la divergencia de éstos representaba mucho menos dos concepciones opuestas de la poesía que dos actitudes antitéticas respecto al arte y la vida en general». En su opinión, «la poesía alegórica (la de *Gerusalemme liberata,* del Tasso), que fuerza al lector a interpretar todo como una alusión lejana a algo diferente, semeja los «trucos» de perspectiva de ciertos cuadros, conocidos bajo el nombre de «anamorfosis», que, para citar al propio Galileo, nos muestran una figura humana cuando se los mira de lado y desde un punto de vista determinado, pero cuando se los mira de frente, como lo hacemos normal y naturalmente en otros cuadros, sólo nos ofrecen un laberinto de colores y líneas, a las que podemos, si ponemos empeño, encontrar parecidos con ríos, playas, nubes o formas extrañas y quiméricas». Igualmente, pensaba, la poesía alegórica, a menos que logre «evitar el más mínimo rastro de esfuerzo», obliga a la narración natural, generalmente bien visible y que puede ser contemplada de frente, «a adaptarse a un sentido alegórico considerado oblicuamente y únicamente implícito», y «lo obstruye de un modo extravagante con invenciones fantásticas, quiméricas y perfectamente inútiles» (p. 13). «Por eso, no es sólo comparando el método 'alegórico' del Tasso con la anamorfosis perspectivista como Galileo asimila las intenciones del *Orlando furioso* (terminado hacia 1515) con las del arte clásico del Renacimiento, y las aspiraciones de la *Gerusalemme liberata* (terminada hacia 1545) con las del manierismo. Muy al principio de las *Considerationi,* describe el contraste entre los estilos del Tasso y del Ariosto, en términos que casi sin cambios podrían aplicarse a la descripción de dos cuadros (la *Madonna de Foligno,* de Rafael, y la *Inmaculada Concepción,* de Vasari[4]...) e incluso a la de cualquier obra del Giorgione o de Tiziano comparada con cualquier obra de Bronzino o de Francesco Salviati. Efectivamente, escribe Galileo, «el relato del Tasso se parece mucho más a una *intarsia* (taracea) que a una

[4] Panofsky publica sus reproducciones.

pintura al óleo. Pues, dado que una *intarsia* está constituida por pequeños trozos de madera de colores diversos, esta composición hace necesariamente a las figuras secas, duras y sin armonía ni relieve. Pero en una pintura al óleo, los contornos se disuelven suavemente y se pasa de un color a otro sin dificultades; por ello, la imagen (el cuadro) se hace suave, armónica, llena de fuerzas y rica en relieve. Ariosto matiza y modela en armonía... El Tasso trabaja a trozos, secamente» (p. 17).

Es una actitud completamente análoga, una actitud «clásica» con su insistencia en la claridad, sobriedad y «separación de géneros» —a saber, de la ciencia por un lado y de la religión o del arte por otro— la que volvemos a encontrar en la obra científica de Galileo. Y su aversión hacia la numerología, tanto pitagórica como bíblica; hacia el empleo del simbolismo y de analogías teo y anthropocósmicas tanto por sus adversarios, que oponían al descubrimiento de los «planetas mediceos» el valor eminente del número *siete*, como por sus partidarios, que justificaban el número *cuatro* alegando que reflejaba la esencia cuatripartita de Dios, del universo y del hombre (espíritu, alma, naturaleza y materia o cuerpo); hacia la adopción de concepciones animistas en astronomía o en física: esta aversión es estrictamente paralela a su feroz oposición al manierismo literario y pictórico, cuya importancia y profundidad nos ha mostrado tan bien Panofsky. Es este «clasicismo» de Galileo el que parece poder arrojar alguna luz sobre el enigma de sus relaciones con Kepler.

«Se sabe (pero no se comprende apenas) —escribe Panofsky (p. 20)— que Galileo, no sólo en sus primeros escritos, sino incluso en su *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, de 1632, libro que hizo de él una víctima durante su vida y un símbolo de la libertad intelectual para los tiempos futuros, ignoró completamente los descubrimientos astronómicos fundamentales de Kepler, su intrépido compañero de armas en la lucha por el reconocimiento del sistema de Copérnico y su colega en la *Academia dei Lincei*, colega con el que mantenía relaciones de estima y de confianza mutua.»

Para explicar este hecho, profundamente inquietante, confesémoslo, no se puede, como se ha propuesto a veces, invocar la ignorancia de Galileo respecto a la obra de Kepler. Es muy difícil creer que Galileo no hubiera conocido nunca los trabajos del ilustre «matemático imperial» a quien además debía la victoria en la controversia consecutiva al descubrimiento de los «astros mediceos»; efectivamente, fue el apoyo dado por Kepler al *Nuntius sidereus* y, aún más, la elaboración de la

teoría del instrumento —del telescopio— empleado por Galileo en su trabajo, lo que hizo inclinar finalmente la balanza a su favor. Además, es sabido que los descubrimientos de Kepler eran conocidos y aceptados por los partidarios de Galileo. Así, Bonaventura Cavalieri dice en su *Specchio ustorio* (en 1632) que Kepler «ennobleció inmensamente las secciones cónicas demostrando claramente que las órbitas de los planetas no eran círculos, sino elipses»; y ya veinte años antes «son mencionadas las elipses como algo universalmente conocido y como una respuesta conveniente a las cuestiones dejadas sin solución por la teoría original de Copérnico» nada menos que por el propio fundador de la *Accademia dei Lincei*, Federico Cessi, que el 12 de julio de 1612 escribe a Galileo: «Creo como Kepler que obligar a los errantes a la precisión de los círculos sería atarlos contra su voluntad a una rueda de molino...; por eso sé, como vos mismo, que muchos movimientos no son concéntricos, ni con relación a la Tierra, ni con relación al Sol..., y quizá no hay ninguno que lo sea si sus órbitas son elípticas como pretende Kepler» (p. 22).

La conclusión de Panofsky, que, con mucha razón, insiste en la importancia de la carta de Cesi —ésta parece haber escapado a la atención de los historiadores y biógrafos de Galileo— me parece, pues, indiscutible (p. 23): «Desde, por lo menos, 1612, es decir, sólo tres años después de la publicación de la *Astronomia nova* y veinte años antes de la publicación de su propio *Dialogo*, Galileo estaba al corriente de la primera y segunda leyes de Kepler. No fue por falta de información, sino deliberadamente, por lo que las ignoró. Y nosotros hemos de preguntarnos por qué.»

A este porqué, Wohlwill, en su *Galileo Galilei und sei Kampf für die copernicanische Lehre* (vol. II, p. 88), había respondido que, para Galileo, que sabía muy bien que el sistema copernicano comportaba dificultades cuya solución era indispensable si se le quería elevar al rango de una verdadera astronomía del sistema solar, pero que, con toda probabilidad, no creía en el valor definitivo de las soluciones de Kepler, no se trataba de alcanzar esta meta puramente científica; se trataba de «hacer ver claro a todo ser pensante la superioridad de la concepción del doble movimiento de la Tierra (copernicana) sobre la concepción del mundo tradicional». Yo mismo, en mis *Etudes galiléennes*, había intentado explicar el silencio de Galileo en el *Dialogo* por el hecho de que esta obra, escrita en italiano y no en latín, dirigida al hombre culto al que se intentaba ganar para la causa copernicana, y no al técnico, era un

libro de pugna, de polémica *filosófica*, mucho más que un libro de astronomía. En favor de mi opinión invocaba el hecho de que el sistema del propio Copérnico —y esto es igualmente válido para el de Tolomeo— no se expone allí en su realidad concreta (la excentricidad del orbe terrestre con relación al Sol, el número y la composición de los orbes planetarios, etc....), sino que se nos presenta en su forma más simple —el Sol en el centro, los planetas moviéndose alrededor del Sol en círculos—, forma que Galileo sabía positivamente que era falsa. Yo habría podido alegar que si Galileo hubiera querido escribir una obra de *astronomía* —y no de filosofía general— habría tenido que estudiar, como lo hizo Kepler en su *Astronomia nova*, no *dos*, sino *tres* grandes sistemas del mundo. No habría podido, como lo hizo, olvidar a Tycho Brahe...

Panofsky nos objeta que Galileo había incluido en su *Dialogo* bastantes cosas difíciles y que habría podido añadir aún más sin temor a confundir a su lector. Creo, por mi parte, que Panofsky desconoce la diferencia de grados de dificultad entre las cosas que Galileo discute en el *Dialogo* —incluso el nuevo concepto de movimiento— y las que deja a un lado, y que subestima en cierto modo el carácter insólito de las leyes de Kepler. Reconozco, sin embargo, que la explicación que acabo de exponer es insuficiente; pues si podía como mucho explicar el silencio del *Dialogo*, no puede explicar el de Galileo.

Panofsky tiene, pues, razón al admitir que se trata de algo distinto, más profundo, y citar a propósito de esto la frase de Einstein: «Que el progreso decisivo realizado por Kepler no dejara ninguna huella en la obra de Galileo es una ilustración grotesca del hecho de que, a menudo, los espíritus creadores no son receptivos en modo alguno.» Tiene igualmente razón al no contentarse con una simple falta de receptividad y al ver en la ignorancia de los descubrimientos keplerianos por Galileo, la expresión de su rechazo tácito por este último, «que parece haberlos excluido de su espíritu por un medio que se podría llamar el proceso de eliminación automática, como algo que era incompatible con los principios que dominaban su pensamiento tanto como su imaginación» (p. 24).

Lo que quiere decir, en el fondo, que rechazó las elipses de Kepler por la simple razón de que eran elipses..., y no círculos, como estaba mandado.

Todos los historiadores conocen el famoso pasaje —se encuentra justo al principio del *Dialogo*— en el que Galileo nos

explica la perfección inherente al movimiento circular «que parte siempre de un término natural y se mueve siempre hacia un término natural; en el que la repulsión e inclinación son siempre de igual fuerza»; que por esta razón no es ni retardado ni acelerado, sino uniforme y, por consiguiente, capaz de una continuación perpetua que no puede tener lugar en un movimiento rectilíneo y continuamente retardado o acelerado.

Todo el mundo conoce igualmente los pasajes, no menos famosos, en los que Galileo nos dice que el movimiento rectilíneo podía haber sido empleado para conducir la materia (del mundo) a su sitio, pero que, una vez acabada la obra, «la materia debe, bien permanecer inmóvil, bien moverse circularmente», y que «sólo el movimiento circular puede convenir de un modo natural a los cuerpos naturales que componen el mundo y que están dispuestos en el mejor orden, mientras que el rectilíneo, dígase lo que se diga, está asignado por la naturaleza a estos cuerpos y a sus partes cada vez que se encuentran fuera de los lugares que les corresponden».

Todo el mundo conoce estos pasajes y nadie puede leerlos sin una cierta desazón; hasta tal punto nos parecen antigalileanos; no podemos admitir que Galileo haya profesado seriamente estos tópicos aristotélicos, tan contrarios al espíritu mismo de la ciencia nueva, de *su* ciencia, con su negación de los «lugares naturales», la geometrización del espacio, la destrucción del cosmos. Como no podemos admitir que Galileo haya podido, a no ser en broma o por deseo de mixtificación, enseñar en su *Dialogo* el carácter circular del movimiento de caída: ¿no había demostrado él mismo que la trayectoria del tiro era una parábola? Sabemos que la obsesión por la circularidad era poderosa en el espíritu de Galileo... Pero de todos modos nos resistimos y tratamos de atenuar el alcance de sus sorprendentes aserciones, nos esforzamos por «interpretarlas» y «explicarlas».

El gran mérito de Panofsky está en haber roto con estos procedimientos; al haber abordado a Galileo por una vía insólita, ha logrado, me permito expresarme así, superar completamente la obsesión de la imagen tradicional de éste. Por eso es capaz de tomar los textos en cuestión *at their face value,* es decir, al pie de la letra, y puede escribir que fue «simplemente imposible para Galileo visualizar el sistema solar como una combinación de elipses». Allí donde nosotros no consideramos al círculo más que como un caso especial de la elipse, Galileo no podía dejar de sentir que la elipse es un círculo deformado; una forma en la que el «orden perfecto» ha sido turbado por la

intrusión del carácter rectilíneo; una forma que, por este hecho mismo, no podía ser producida por lo que él concebía como un movimiento uniforme; y que, podemos añadir, había sido tan expresamente rechazada por el arte del alto Renacimiento como adoptada por el manierismo» (p. 25).

Se podría casi decir, por tanto, aunque Panofsky no lo diga —y quizá no hay ni siquiera necesidad de emplear el «casi»— que Galileo sentía por la elipse la misma invencible aversión que experimentaba por la anamorfosis; y que la astronomía de Kepler era para él una astronomía manierista.

Por mi parte, creo que Panofsky tiene mucha razón al insistir en el eminente papel que la idea de la circularidad desempeñaba en el pensamiento de Galileo, al recordarnos, por ejemplo, que —coincidiendo, una vez más, de modo sorprendente con Leonardo da Vinci— Galileo ve la característica de los movimientos del cuerpo animal, o humano, en la *rotación* de sus miembros alrededor de sus puntos de unión «cóncavos o convexos» y los reduce así al «sistema de círculos y epiciclos», mientras que Kepler afirma, por el contrario, que «todos los músculos operan según el principio del movimiento rectilíneo» [5] y niega «que Dios haya instituido un movimiento perpetuo no rectilíneo que no esté guiado por un principio espiritual» (página 26). Me pregunto, en cambio, si tiene la misma razón al decirnos que, «al contrario que Galileo y anticipándose a la física postgalileana [Kepler], consideraba el movimiento rectilíneo, y no el movimiento circular, como el movimiento privilegiado en lo que concierne al mundo corporal [físico]». Por un lado, en efecto, el carácter privilegiado del movimiento rectilíneo *para el mundo material* es una de las tesis más fundamentales de la física tradicional (la de Aristóteles): si para ésta el movimiento circular es *natural* en los cielos, es porque justamente las esferas y los astros no son materiales, o porque, por lo menos, su materia es completamente distinta a la de nuestro mundo sublunar. Ahora bien, si la física moderna, a cuyo establecimiento Galileo y Kepler, los dos, contribuyeron tan poderosa y distintamente, reconoce al movimiento *rectilíneo* un privilegio absoluto, es en un sentido muy distinto de

[5] Es interesante señalar que, mientras que Galileo habla de los *movimientos* de los miembros del cuerpo animal (cinemática), Kepler considera el de los *músculos* que los producen (dinámica). Ocurre lo mismo en lo que concierne a la astronomía.

aquel en el que lo hace el matemático imperial. Para éste, el privilegio del movimiento rectilíneo expresa la finitud e imperfección relativa —pero necesaria— del mundo creado: un movimiento rectilíneo perpetuo y uniforme es rigurosamente imposible; para aquélla su privilegio consiste justamente en el hecho de que, en su universo infinito, es, por excelencia, el movimiento que prosigue eternamente.

No olvidemos tampoco que si Kepler pudo superar efectivamente «la obsesión de la circularidad», no lo hizo del todo: el movimiento de los planetas, aunque no sea ya «natural» ni siquiera «animal», sino producido por un motor exterior, no engendra en él —como tampoco en Galileo— fuerzas centrífugas... No olvidemos, en fin, que si Kepler llega a sustituir los círculos por elipses no lo hace de buen grado ni porque tenga una predilección cualquiera por esta curva tan curiosa; es porque no puede hacer otra cosa. En efecto, como astrónomo de profesión, que escribe para técnicos —y no, como Galileo, para hombres cultos— no puede descuidar, como éste último, los datos empíricos, es decir, las observaciones *muy precisas* que le dio Tycho Brahe. Su deber es dar una teoría no general, sino concreta, de los movimientos. Y si con un atrevimiento intelectual incomparable se decide a introducir en los cielos un movimiento no circular[6], no lo hace más que después de haber intentado vanamente acomodarse a la tradición. Sin duda, *post factum* se percibirá que la adopción de la elipse introduce una simplificación maravillosa en el sistema de los movimientos planetarios, que una trayectoria elíptica está más de acuerdo con una concepción dinámica —la suya— de estos movimientos, que una trayectoria compuesta por movimientos circulares, y que tal trayectoria —justamente en su imperfección— conviene más al mundo móvil temporal y cambiante, que la suprema perfección de la esfera. Pero sólo se dará cuenta después. Pues como Galileo —o, a decir verdad, todavía menos que él— no dudó jamás de ésta, y como Galileo no logró jamás ver en la elipse otra cosa que un círculo deformado. Por eso, para obligar a los planetas a describirla en el cielo, se vio obligado a atribuir a éstos una «liberación» sobre sus rayos vectores y motores propios que se la hacen realizar. En efecto, bajo la única influencia de la acción motriz del Sol, los planetas describirían círculos. Es la acción de sus motores propios la que los desvía de este recto camino.

[6] A decir verdad, Tycho Brahe lo había hecho ya. Pero sólo en el caso de un cometa.

Panofsky, además, no discrepa: «Kepler y sus amigos —escribe (p. 28)— no estaban menos anclados en la creencia de la supremacía ideal del círculo y de la esfera que Galileo. Igual que el de Galileo, el universo de Kepler conservó siempre la forma de una esfera finita y bien centrada —para él era la imagen de la divinidad— y experimentaba un 'horror misterioso' ante el solo pensamiento de la *infinitud* 'sin límite ni centro' de Bruno.» Panofsky no hace de Kepler un «moderno». Muy al contrario. En efecto, «si admitimos como 'moderno' —escribe (p. 28)— la eliminación del alma de la materia, incluyendo los cuerpos celestes, Kepler estaba mucho más cerca del animismo clásico, tan vigorosamente revivificado por el Renacimiento, que Galileo; si estuvo en ciertos aspectos y en casos de gran importancia, más cerca de la verdad [que Galileo] no fue tanto porque tuviera menos prejuicios como porque sus prejuicios eran de un tipo diferente».

Esto es justo sin duda; no creo, sin embargo, que lo sea por completo. Kepler, me parece, no tenía solamente diferentes «prejuicios» que Galileo: tenía realmente más que él. O, si se prefiere, había guardado o incluso reforzado ciertos «prejuicios» que Galileo había perdido o que se habían difuminado en su espíritu. Tal como, por ejemplo, el horror ante el infinito del Universo: al contrario que Kepler, Galileo no experimenta ninguno. Por eso, su mundo, aunque sigue siendo finito, no está, como el de Kepler, limitado por una bóveda celeste que sostiene las estrellas. Este mundo ya no es, o lo es apenas, un cosmos. Y, sobre todo, ya no es —como lo es para Kepler, que ve en el Sol una imagen y casi una encarnación del padre, en la bóveda celeste la del Hijo y la del Espíritu Santo en el intervalo— en absoluto la expresión de la Trinidad creadora.

Ahora bien —y aquí volvemos al problema de la actitud de Galileo hacia Kepler y a los análisis magistrales de Panofsky—, es muy probable que la simbólica de Kepler y su uso de los razonamientos cosmoteológicos suscitaran en Galileo la misma aversión que provocaba en él el alegorismo de Torcuato Tasso. Y el animismo de Kepler, su atribución al Sol de un alma motriz en virtud de la cual gira sobre sí mismo y emite, como un torbellino muy rápido, una fuerza motriz magnética o casi magnética que atrae a los planetas y los arrastra alrededor de él, debía obrar en el mismo sentido. Para Galileo eso era una vuelta a concepciones mágicas; como el repetido recurso de Kepler a la noción de atracción que ningún galileano podrá aceptar nunca.

Es una desgracia que Galileo no haya sabido distinguir entre el contenido matemático y la subestructura «física» de la doctrina de Kepler. No se lo reprochamos, sin embargo, demasiado: el contenido y la forma parecían solidarios, y en Kepler mismo la aceptación de las trayectorias elípticas estaba ligada a una concepción dinámica, la cual, a su vez, estaba apoyada en un animismo astral o por lo menos solar.

Dicho esto, no es menos cierto que «ésa es una de las paradojas más asombrosas de la historia: allí donde el empirismo progresista de Galileo le impidió distinguir entre la forma ideal [del círculo] y la acción mecánica, y por esto mismo contribuyó a mantener su teoría del movimiento bajo la égida de la circularidad, el idealismo «conservador» de Kepler le permitió hacer esta distinción y por esto mismo contribuyó a liberar su teoría del movimiento de la obsesión por la circularidad» (página 29).

Se podría decir, creo, que la paradoja es aún más profunda: pues la sustitución por Kepler de la cinemática pura de sus predecesores por una dinámica celeste, la idea grandiosa de la unificación científica del universo o, para emplear los términos del propio Kepler, la identificación de la física celeste y la terrestre, reposa, sin duda alguna, en la destrucción por Copérnico de la división del mundo en «sublunar» y «astral». Pero reposa igualmente en la fidelidad de Kepler a la concepción tradicional, aristotélica, del movimiento-proceso.

En efecto, al haber permanecido fiel a esta concepción, según la cual todo movimiento continuo implica necesariamente la acción igualmente continua de un motor, la unificación material del mundo, es decir, la asimilación de la Tierra a los planetas, y, por tanto, de los planetas a la Tierra, le impuso la pregunta —que dio origen a todo lo demás—: *a quo moventur planetae?* (¿qué es lo que hace girar a los planetas?). En cambio, dado que al haber repudiado la concepción aristotélica del movimiento, Galileo llegó a la del movimiento-estado y al descubrimiento del principio de inercia que había extendido al movimiento circular, o más exactamente, del que no había excluido a este movimiento, no necesitó plantearse esta pregunta, y habiendo meditado largamente sobre el problema *a quo moventur proiecta?*, se contentó con la respuesta *a nihilo* que había obtenido.

Las vías del pensamiento humano son curiosas, imprevisibles, ilógicas; parece preferir los rodeos a la línea recta. Por ello, lo mejor que podemos hacer es adoptar la conclusión del admirable trabajo de Panofsky: «Fue quizá precisamente por-

que Kepler partió de una cosmología esencialmente mística, pero tuvo la fuerza de reducirla a aserciones cuantitativas, por lo que fue capaz de convertirse en un astrónomo tan «moderno» como lo fue Galileo en cuanto físico. Libre de todo misticismo, pero sujeto a sus prevenciones de purista y clasicista, Galileo, el padre de la mecánica moderna, fue, en el ámbito de la astronomía, un explorador más que un demiurgo» (p. 31).

El purismo es una cosa peligrosa. Y el ejemplo de Galileo —en modo alguno único, por lo demás— demuestra bien que no hay que exagerar nada. Ni siquiera la exigencia de claridad.

UN EXPERIMENTO DE MEDICIÓN *

Cuando los historiadores de la ciencia moderna [1] tratan de definir su esencia y su estructura, insisten la mayoría de las veces en su carácter empírico y concreto por oposición al carácter abstracto y libresco de la ciencia clásica y medieval. La observación y la experiencia llevando una ofensiva victoriosa contra la tradición y la autoridad: ésa es la imagen, igualmente tradicional, que se nos da habitualmente de la revolución intelectual en el siglo XVII, de la cual la ciencia moderna es, a la vez, la raíz y el fruto.

Este cuadro no es en absoluto erróneo. Por el contrario: es perfectamente evidente que la ciencia moderna ha ampliado más allá de cualquier posibilidad de evaluación nuestro conocimiento del mundo y acrecentado el número de «hechos» —toda clase de hechos— que ha descubierto, observado y reunido. Además, así es justamente como algunos de los fundadores de la ciencia moderna han considerado y comprendido su obra y se han comprendido a sí mismos. Gilbert y Kepler, Harvey y Galileo, todos ensalzan la admirable fecundidad de la experiencia y de la observación directa, oponiéndola a la esterilidad del pensamiento abstracto y especulativo [2].

* Traduccion por Serge Hutin del texto «An experiment in measurement», aparecido en los *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 97, núm. 2, abril de 1953.

[1] Utilizaré la expresión «ciencia moderna» para la ciencia que se ha constituido en los siglos XVII y XVIII, es decir, en el período que va, *grosso modo*, de Galileo a Einstein. A veces se denomina a esta ciencia «clásica» por oposición a la ciencia contemporánea; no seguiré esta costumbre y reservaré la denominación «ciencia clásica» para la ciencia del mundo clásico, principalmente la de los griegos.

[2] Cf., por ejemplo, W. Whewell, *History of the inductive sciences*, 3 volúmenes, Londres, T. W. Parker, 1837; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch durgestellt*, Leipzig, F. A. Brockhaus, 1883, 9.ª ed., Leipzig, F. A. Brockhaus, 1933; en francés con el título *La mécanique*, obra traducida de la cuarta edición alemana, París, A. Hermann, 1904.

Sin embargo, sea cual fuere la importancia de los nuevos «hechos» descubiertos y reunidos por los *venatores,* la acumulación de un cierto número de «hechos», es decir, una pura colección de datos de observación o de experiencia, no constituye una ciencia: los «hechos» deben ser ordenados, interpretados, explicados. Dicho de otro modo, hasta que se somete a un tratamiento teórico, un conocimiento de los hechos no se convierte en una ciencia.

Por otra parte, la observación y la experiencia —es decir, la observación y la experiencia en bruto, las del sentido común— sólo desempeñaron una función poco importante en la edificación de la ciencia moderna [3]. Incluso se podría decir que han constituido los principales obstáculos que la ciencia ha encontrado en su camino. No la *experiencia,* sino la *experimentación,* es la que desarrolló su crecimiento y propició su victoria: el empirismo de la ciencia moderna no se basa en la experiencia, sino en la experimentación.

Ciertamente, no hay necesidad de insistir aquí en la diferencia entre «experiencia» y «experimentación». No obstante, querría llamar la atención sobre el estrecho vínculo que existe entre la experimentación y la elaboración de una teoría. Lejos de oponerse, la experiencia y la teoría se encuentran vinculadas y mutuamente interdeterminadas, y con el desarrollo de la precisión y el perfeccionamiento de la teoría es como crecen la precisión y el perfeccionamiento de las experiencias científicas. En efecto, al ser una experiencia científica —como tan bien lo ha expresado Galileo— una pregunta que se plantea a la naturaleza, resulta perfectamente claro que la actividad que tiene como resultado plantear esa pregunta está en función de la elaboración del lenguaje en el cual se formula esa actividad. La experimentación es un proceso teleológico cuyo fin está determinado por la teoría. El «activismo» de la ciencia moderna, tan bien advertido —*scientia activa, operativa*— y tan mal interpretado por Bacon, sólo es la contrapartida de su desarrollo teórico.

Por otra parte, tenemos que añadir —y esto determina los rasgos característicos de la ciencia moderna— que la investigación teórica adopta y desarrolla el modo de pensar del matemático. Esta es la razón por la cual su «empirismo» difiere *toto*

[3] Como ya lo han reconocido Tannery y Duhem, la ciencia aristotélica concuerda mucho mejor con la experiencia común que la de Galileo y Descartes. Cf. P. Tannery, «Galilée et les principes de la dynamique», en *Mémoires scientifiques,* t. VI, pp. 400 ss., Toulouse, E. Privat, 1926; P. Duhem, *Le système du monde,* t. I, pp. 194-195, París, Hermann, 1913.

caelo del de la tradición aristotélica[4]: «El libro de la naturaleza está escrito en caracteres geométricos», declaraba Galileo; lo cual implica que, para alcanzar sus objetivos, la ciencia moderna se encuentra forzada a reemplazar el sistema de conceptos flexibles y semicualitativos de la ciencia aristotélica por un sistema de conceptos rígidos y estrictamente cuantitativos. Lo cual significa que la ciencia moderna se constituye sustituyendo el mundo cualitativo, o más exactamente, *mixto*, del sentido común (y de la ciencia aristotélica) por un mundo arquimedeano de geometría hecha realidad o —lo que es exactamente lo mismo— sustituyendo el mundo del más o menos, que es el de nuestra vida cotidiana, por un universo de mediciones y precisión. En efecto, esta sustitución excluye automáticamente del universo todo lo que no se puede someter a una exacta medición[5].

La búsqueda de la precisión cuantitativa, del descubrimiento de datos numéricos exactos, de estos «números, pesos, medidas» con los que Dios ha construido el mundo, es la que constituye la meta y determina, por tanto, la estructura misma de las experiencias de la ciencia moderna. Este proceso no coincide con las investigaciones en el dominio de la experiencia en el sentido general del término: ni los alquimistas, ni Cardano, ni Giambattista Porta —ni siquiera Gilbert— buscan resultados matemáticos. Y es porque consideran el mundo como un conjunto de cualidades más que un conjunto de cantidades. En efecto, lo cualitativo es incompatible con la precisión de la medición[6]. En este aspecto no hay nada tan significativo como el hecho de que Boyle y Hooke (ambos investigadores experimentales de primera magnitud, que conocían el valor de las mediciones precisas) hagan un estudio puramente cualitativo de

[4] Un empirismo es lo que la tradición aristotélica opone al matematismo abstracto de la dinámica galileana. Cf., sobre el empirismo de los aristotélicos, J. H. Randall, Jr., «Scientific method in the School of Padua», *Journ. Hist. of Ideas,* t. I, pp. 177-206, 1940.

[5] En realidad, esto no se aplica más que a las ciencias denominadas «exactas» (fisicoquímicas), por oposición a la «ciencia» o historia calificada como «natural» (a las ciencias que tratan del mundo «natural» de nuestra percepción y de nuestra vida), que no rechazan —ni podrían hacerlo— la cualidad, para sustituir por un mundo de mediciones exactas el mundo del «más o menos». De todos modos, ni en botánica, ni en zoología, ni siquiera en fisiología y en biología, las mediciones exactas han desempeñado papel alguno; sus conceptos siguen siendo los conceptos no matemáticos de la lógica aristotélica.

[6] La cualidad se puede ordenar, pero no medir. El «más o menos» que utilizamos refiriéndonos a la cualidad nos permite construir una escala, pero no aplicar una medición exacta.

los colores espectrales. No hay nada que revele mejor la incomparable grandeza de Newton que su capacidad de trascender el dominio de la cualidad para penetrar en el dominio de la realidad física, es decir, en lo que se encuentra cuantitativamente determinado. Pero, además de las dificultades teóricas (conceptuales) y psicológicas que impiden la aplicación de la idea de rigor matemático al mundo de la percepción y de la acción, la realización efectiva de mediciones correctas tropieza en el siglo XVII con dificultades técnicas de las que sólo tenemos, me temo, viviendo en un mundo agobiado y dominado por los instrumentos de precisión, una idea muy remota. Incluso los historiadores que —como señalaba I. Bernard Cohen— nos presentan demasiado a menudo los experimentos decisivos del pasado no tal como *fueron* realizados *entonces*, sino como *son* realizados *ahora* en nuestros laboratorios y universidades, no tienen una conciencia plena de las condiciones reales, y, por tanto, del auténtico sentido de la experimentación en la época heroica de la ciencia moderna[7]. Y con el propósito de contribuir a la historia de la constitución de los métodos experimentales de la ciencia, voy a tratar de describir la historia del primer intento consciente y seguido de una medición experimental; la medición de una constante universal: la constante de la aceleración de los cuerpos que caen libremente.

Todo el mundo sabe la importancia histórica de la ley de la caída, primera de las leyes matemáticas de la nueva dinámica desarrollada por Galileo, la ley que establecía, de una vez para siempre, que «el movimiento está sometido a la ley del número»[8]. Esta ley presupone que la pesantez, aunque en absoluto sea una propiedad esencial de los cuerpos (y cuya naturaleza, además, ignoramos), no obstante, es su propiedad universal (todos los cuerpos son «pesados» y no los hay «ligeros»); por otra parte, para cada uno de ellos constituye una propiedad invariable y constante. Sólo en esas condiciones la ley galileana es válida (en el vacío).

Sin embargo, a pesar de la elegancia matemática y de la verosimilitud física de la ley galileana, es evidente que, considerada en sí misma, no es la única ley posible[9]. Además, no nos

[7] Cf. I. Bernard Cohen, «A sense of history in science», *Amer. Journ. Physics*, t. 18 (6.ª s.), pp. 343 ss., 1950.

[8] Cf. Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, Opere,* Edizione Nazionale, t. 8, p. 190, Florencia, 1898.

[9] G. B. Baliani propone en consecuencia una ley según la cual los espacios atravesados son *ut numeri impares;* Descartes y Torricelli discuten la posibilidad de que los espacios estén en proporción cúbica y no cua-

encontramos en el vacío, sino en el aire; no en el espacio abstracto, sino en la Tierra, y quizá incluso en una Tierra que se mueve. Es absolutamente evidente que es indispensable una verificación experimental de la ley, lo mismo que de su posibilidad de aplicarla a los cuerpos que caen en nuestro espacio, *in hoc vero aere.* Como es indispensable la determinación del valor concreto de la aceleración (g).

Sabemos la extremada ingeniosidad con la que Galileo, incapaz de realizar mediciones directas, sustituye la caída libre por el movimiento en el plano inclinado, por un lado, y por el del péndulo, por otro. Es justo reconocer su inmenso mérito y su genial intuición, y el hecho de que estén basados en suposiciones erróneas no los menoscaba en absoluto [10]. Pero es igualmente justo revelar la asombrosa y lamentable pobreza de los medios experimentales que se encontraban a su disposición.

Dejemos que él mismo nos hable sobre su *modus procedendi* [11]:

> En un listón o, lo que es lo mismo, en un tablón de una longitud aproximada de doce codos, de medio codo de anchura más o menos y un espesor de tres dedos, hicimos una cavidad o pequeño canal a lo largo de la cara menor, de una anchura de poco más de un dedo. Este canal, tallado lo más recto posible, se había hecho enormemente suave y liso, colocando dentro un papel de pergamino lustrado al máximo. Después, hacíamos descender por él una bola de bronce muy dura, bien redonda y pulida.

drada en relación con el tiempo; en la física newtoniana la aceleración está en función de la atracción y, por lo tanto, no es constante. Además, como el mismo Newton no deja de señalarlo, la ley de atracción del cuadrado inverso no es en absoluto la única posible.

[10] Los experimentos de Galileo se fundan en las siguientes suposiciones: *a)* que el movimiento de una bola *rodando* a lo largo de un plano inclinado es equivalente al de un cuerpo *deslizándose* (sin fricción) sobre el mismo plano; *b)* que el movimiento pendular es perfectamente isócrono. Al ser este isocronismo una consecuencia de su ley de la caída, una confirmación experimental del primero confirmaba esta última. Desgraciadamente no es posible ninguna medición directa de los períodos consecutivos de oscilación: sencillamente, porque no hay relojes con qué medirlos. Por lo tanto, Galileo —y hay que admirar su genio experimentador— sustituye la medición directa por la comparación del movimiento de dos péndulos diferentes (de igual longitud) cuyas péndolas, aunque tengan oscilaciones que se realicen con diferentes amplitudes, no dejan de llegar en el mismo momento a su posición de equilibrio (el punto más bajo de la curva). La misma experiencia, realizada con péndulos cuyas péndolas están constituidas por cuerpos de pesos diferentes, demuestra que los cuerpos pesados y ligeros (tanto individual como específicamente) caen a la misma velocidad. Cf. *Discorsi,* pp. 128 ss.

[11] Cf. *Discorsi, Giornata terza,* pp. 212 ss. Traducción francesa del texto original. [Trad. cast. cit.]

Habiendo colocado dicho listón de forma inclinada, se elevaba sobre la horizontal una de sus extremidades, hasta la altura de uno o dos codos, según pareciera, y se dejaba caer (como he dicho) la bola por dicho canal, tomando nota como en seguida he de decir del tiempo que tardaba en recorrerlo todo. Repetimos el mismo experimento muchas veces para asegurarnos bien de la cantidad de tiempo y pudimos constatar que no se hallaba nunca una diferencia ni siquiera de la décima parte de una pulsación. Establecida exactamente esta operación, hicimos que esa misma bola descendiese solamente por una cuarta parte de la longitud del canal en cuestión. Medido el tiempo de la caída, resulta ser siempre, del modo más exacto, precisamente la mitad del otro. Haciendo después el experimento con otras partes, bien el tiempo de la longitud completa con el tiempo de la mitad, con el de dos tercios, con el de 3/4 o con cualquier otra fracción, llegábamos a la conclusión, después de repetir tales pruebas una y mil veces, que los espacios recorridos estaban entre sí como los cuadrados de sus tiempos. Esto se podía aplicar a todas las inclinaciones del plano, es decir, del canal a través del cual se hacía descender la bola. Observamos también que los tiempos de las caídas por diversas inclinaciones del plano guardan entre sí de modo riguroso una proporción que es, como veremos después, la que les asignó y demostró el autor[12].

En lo que a la medida del tiempo se refiere, empleamos una vasija grande llena de agua, sostenida a una buena altura y que, a través de un pequeño canal muy fino, iba vertiendo un hilillo de agua, siendo recogido en un vaso pequeño durante todo el tiempo en que la bola descendía, bien por todo el canal o sólo por alguna de sus partes. Se iban pesando después en una balanza muy precisa aquellas partículas de agua recogidas del modo descrito, con lo que las diferencias y proporciones de los pesos nos iban dando las diferencias y las proporciones de los tiempos. Ocurría esto con tal exactitud que, como he indicado, tales operaciones, repetidas muchísimas veces, jamás diferían de una manera sensible.

¡Una bola de bronce que rueda en una ranura «lisa y pulida», tallada en madera! ¡Un recipiente de agua con un agujero por el cual pasa el agua que se recoge en un vaso, para pesarla luego y medir de este modo los tiempos de descenso (la clepsidra romana, la de Ctesibio, era un instrumento mucho mejor)!: ¡qué acumulación de fuentes de error y de inexactitud!

Es evidente que los experimentos de Galileo están completamente desprovistos de valor: la misma perfección de sus resultados es una prueba rigurosa de su inexactitud[13].

[12] La velocidad de la caída es proporcional al seno del ángulo de inclinación. Cf. *Ibid.*, pp. 215, 219.

[13] Los historiadores modernos, acostumbrados a ver cómo se hacen los experimentos de Galileo para los estudiantes en nuestros laboratorios

No es de extrañar que Galileo, que, sin duda alguna, es plenamente consciente de todo esto, evite en la medida de lo posible (por ejemplo, en los *Discorsi*) dar un valor concreto a la aceleración; y que, cada vez que le da uno (como en el *Dialogo*), sea radicalmente falso. Hasta tal punto falso que el P. Mersenne fue incapaz de disimular su sorpresa:

> Ahora bien, él supone, escribe a Peiresc [14], que la bola cae cien brazas en cinco segundos, de donde se sigue que no caerá mas que cuatro brazas en un segundo, aunque yo esté seguro de que cae de una mayor altura.

En efecto, cuatro codos —ni siquiera siete pies [15]— son menos de la mitad del valor auténtico; y más o menos, la mitad del valor que el mismo P. Marsenne establecerá. Y, sin embargo, el hecho de que las cifras dadas por Galileo sean ampliamente inexactas no tiene nada de sorprendente; al contrario, sería sorprendente, e incluso milagroso, que no lo fueran. Lo que es sorprendente es el hecho de que Mersenne, cuyos medios de experimentación no eran mucho más ricos que los de Galileo, haya podido obtener resultados hasta tal punto mejores.

Así, pues, la ciencia moderna se encuentra, en sus comienzos, en una situación más bien extraña e incluso paradójica: escoge la precisión como principio; afirma que lo real es geométrico en su esencia y está sometido, por tanto, a la determinación y a la medición rigurosas (*viceversa*, matemáticos como Barrow y Newton ven en la geometría misma una ciencia de la medición [16]); descubre y formula (matemáticamente) leyes que le permiten deducir y calcular la posición y la velocidad de un cuerpo en cada punto de su trayectoria y en cada momento de

escolares, aceptan esta sorprendente exposición como verdad del Evangelio y felicitan a Galileo por haber establecido, por lo tanto, no sólo la validez empírica de la ley de la caída, sino también esta última. (Cf., entre muchos otros, N. Bourbaki, *Eléments de mathématique*, 9, primera parte, libro IV, cap. I-III, «Nota histórica», p. 150 *(Actualités scientifiques et industrielles*, núm. 1074, París, Hermann, 1949). Cf. Apéndice 1.

[14] Marin Mersenne, *Lettre à Peiresc* del 15 de enero de 1635; cf. Tamizey de Larroque, *La correspondance de Peiresc*, t. 19, p. 112, París, A. Picard, 1892; cf. *Harmonie universelle*, t. 1, 2.ª s., pp. 85, 95, 108, 112, 144, 156, 221, París, 1636.

[15] El codo florentino, sin lugar a dudas utilizado por Galileo, contiene 20 pulgadas, es decir, 1 pie y 8 pulgadas, y el pie florentino equivale al pie romano, que es igual a 29,57 cm.

[16] Cf. Isaac Barrow, *Lectiones mathematicae* de 1664-1666 *(The mathematical work of Isaac Barrow*, D. B., comp. por W. Whewell, Cambridge, CUP, 1860), pp. 216 ss.; Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, prefacio, Londres, 1687.

su movimiento, y no es capaz de utilizarlas porque no tiene ningún medio de determinar una duración ni de medir una velocidad. Sin embargo, sin estas mediciones, las leyes de la nueva dinámica siguen siendo abstractas y huecas. Para darles un contenido real, es indispensable poseer los medios de medir el tiempo (el espacio es fácil de medir), es decir, *organa chronou, orologii,* como los llama Galileo; dicho de otro modo: relojes de precisión [17].

En efecto, el tiempo no se puede medir directamente, sino solamente mediante otra cosa que lo exprese. Es decir:

a) o un proceso constante y uniforme, como, por ejemplo, el movimiento constante y uniforme de la esfera celeste, o el goteo constante y uniforme del agua en la clepsidra de Ctesibio [18];

b) o un proceso que, aunque no uniforme en sí mismo, se pueda repetir, o se repita, de un modo automático;

c) o, finalmente, un proceso que, aunque no se repita de una forma idéntica siempre, emplee para su realización el mismo tiempo, presentando de este modo un átomo o una unidad de duración.

Fue en el movimiento pendular donde Galileo encontró un proceso así. En efecto, un péndulo, a condición, por supuesto, de que todos los obstáculos interiores y exteriores (como la fricción o la resistencia del aire) se eliminasen, reproduciría y re-

[17] La inexactitud de los relojes de los siglos XVI y XVII es bien conocida; los relojes de precisión son subproductos del desarrollo científico (cf. Willis I. Milham, *Time and timekeepers,* N. Y., Macmillan, 1923; L. Defossez, *Les savants du XVII siècle et la mesure du temps,* Lausanne, Ed. Journal Suisse d'Horlogerie, 1946), y, sin embargo, normalmente se explica su construcción por la necesidad de resolver el problema de las longitudes, es decir, por la presión de las necesidades prácticas de la navegación, cuya importancia económica había aumentado considerablemente desde la circunnavegación de Africa y el descubrimiento de América (cf. por ejemplo Lancelot Hogben, *Science for the citizen,* 2.ª ed., páginas 235 ss.; Londres, G. Allen and Unwin, 1946). Sin negar la importancia de las necesidades prácticas o de los factores económicos para el desarrollo de la ciencia, creo que esta explicación, que combina los prejuicios baconianos y marxistas en favor de la *praxis* y contra la *theoria,* es falsa al menos en un 50 por 100: las razones de construir instrumentos correctos para medir el tiempo eran y son todavía inmanentes al desarrollo científico mismo. Cf. mi artículo «Du monde de l'à-peu-près à l'univers de la précision», *Critique,* núm. 28, 1946.

[18] Cf. su descripción en H. Diels, *Antike Technik,* 3.ª ed., Leipzig, Teubner, 1924.

petiría sus oscilaciones de una manera perfectamente idéntica hasta el final de los tiempos. Además, incluso *in hoc vero aere,* en que su movimiento resulta continuamente retardado y en el que dos oscilaciones no pueden ser estrictamente idénticas, el período de estas oscilaciones sigue siendo constante.

O, para decirlo con las mismas palabras de Galileo [19]:

«Antes de cualquier otra cuestión, hay que hacer notar que cada péndulo tiene un tiempo de oscilación limitado y fijado de tal modo que sería algo imposible hacer que se moviera con otro período que no sea el que por naturaleza le corresponde», que no depende ni del peso de la péndola ni de la amplitud de la oscilación, sino únicamente de la longitud del hilo de suspensión.

Por otra parte, Galileo ha realizado este gran descubrimiento; pero no —como, desde Viviani, se explica en los manuales [20]— observando las oscilaciones de la gran lámpara de la catedral de Pisa y estableciendo su isocronía por comparación con los latidos de su pulso, sino mediante experimentos extremadamente ingeniosos en los que compara las oscilaciones de dos péndulos de la misma longitud, pero con péndolas de diferente materia y, por tanto, pesos diferentes (corcho y plomo [21]), y, sobre todo, mediante una intensa reflexión matemática. Así, dice Salviati [22]:

En lo que atañe a la primera dificultad, y que se pregunta si un mismo péndulo realiza todas sus oscilaciones con toda exactitud y rigor, sean ellas muy grandes, medianas o muy pequeñas, en tiempos completamente iguales, yo me atengo a lo que he oído ya de la boca de nuestro académico. Este demuestra, en efecto, que el móvil que descendiese según las cuerdas que se encuentran bajo cualquier arco, las recorrería todas, necesariamente, en tiempos iguales, tanto la cuerda subtendida por ciento ochenta grados (o sea, todo el diámetro) como las subtendidas por cien, sesenta, diez, doce grados,

[19] Cf. Galileo Galilei, *Discorsi,* p. 141.

[20] Las famosas lámparas se colocaron en la catedral de Pisa tres años después de la partida de Galileo de aquella ciudad; en la época en que Viviani sitúa el descubrimiento, la cúpula de la catedral de Pisa se encontraba aún desnuda y vacía. Cf. E. Wohlwill, «Ueber einen Grundfehler aller neueren Galilei-Biographien», *Münchener medizinische Wochenschrift,* 1903, y *Galilei und sein Kamf für die Copernicanische Lehre,* t. 1, Hamburgo y Leipzig, L. Voss, 1909; R. Giacomelli, «Galileo Galilei giovane e il suo ' De motu'», *Quaderni di storia e critica della scienza,* t. 1, Pisa, 1949.

[21] Cf. *supra,* nota 10.

[22] Cf. Galileo Galilei, *Discorsi,* p. 139.

medio grado o cuatro minutos, siempre que se entienda que todas tengan como término el punto más bajo que toca el plano horizontal.

Por lo que se refiere a los móviles que descienden por los arcos de estas mismas cuerdas, que están por encima de la horizontal, pero que no sean mayores que un cuarto de círculo (es decir, noventa grados) la experiencia muestra, del mismo modo, que todos los recorrerán en tiempos iguales, pero más breves, sin embargo, que los tiempos empleados para recorrer las cuerdas. Tal efecto tiene, a primera vista, algo de sorprendente, ya que parece que es precisamente lo contrario lo que tendría que ocurrir. Y es que al ser los mismos los dos términos, el del principio y el del final, del movimiento y siendo la línea recta el camino más corto que une a dichos términos, parece razonable pensar que el movimiento realizado por la línea recta debería serlo en el tiempo más corto. Por el contrario, no es éste el tiempo más corto y, en consecuencia, el movimiento más rápido es el que corresponde al recorrido por el arco del que es cuerda la línea recta.

En cuanto a la relación entre los tiempos de las oscilaciones de los móviles que cuelgan de hilos de longitud diferente, dichos tiempos se encuentran en razón *subdupla* de las longitudes de los hilos; o dicho de otra manera, las longitudes están en proporción a la segunda potencia [*duplicata proporzione*] de los tiempos; es decir, están en proporción a los cuadrados de los tiempos. Si queremos, por ejemplo, que el período de oscilación de un péndulo sea el doble del de otro, es necesario que el hilo del primero sea, en lo que a la longitud se refiere, cuatro veces mayor que el segundo. Igualmente, para que, en el tiempo de una oscilación de un péndulo, otro haga tres, el hilo del primero ha de ser nueve veces más largo que el del segundo. De lo que se sigue que las longitudes de los hilos tienen, entre sí, la misma proporción que los cuadrados de los números de oscilaciones que tienen lugar en el mismo tiempo.

Es necesario admirar la profundidad del pensamiento galileano, que se manifiesta incluso en sus errores: por supuesto, las oscilaciones del péndulo no son isócronas, y el círculo no es la línea de descenso más rápida, pero, para emplear el término del siglo XVIII, la curva «braquistocrona», y la curva en la que se realizan las oscilaciones en el mismo tiempo (o curva «tautocrona»), constituyen para Galileo la misma línea [23].

[23] Los tiempos de descenso en todas las cuerdas eran iguales y, al ser el movimiento a lo largo del arco (circular) más rápido que el movimiento a lo largo de la cuerda, era para Galileo razonable suponer que la caída a lo largo del arco era la más rápida posible y que, por lo tanto, el movimiento del péndulo era isócrono. El hecho de que esto no sucede así fue descu-

Es bastante raro que habiendo descubierto el isocronismo del péndulo —base misma de toda la cronometría moderna— Galileo, aunque intentó realizar un cronómetro e incluso construir un reloj de péndulo mecánico teniendo en cuenta este descubrimiento [24], no lo utilizó nunca en sus propios experimentos. Parece ser que fue el P. Mersenne quien tuvo primero esa idea.

En realidad, el P. Mersenne no nos dice, *expressis verbis*, que empleara el péndulo como medio para medir el tiempo de descenso de los cuerpos pesados, en las experiencias que describe en su *Harmonie universelle* [25]. Pero como, en la misma obra, da una descripción minuciosa del movimiento del péndulo semicircular, e insiste en sus diferentes utilizaciones, en medicina (para las determinaciones de las variaciones en la velocidad de los latidos del corazón), en astronomía (para la observación de los eclipses de Luna y Sol), etc. [26], es prácticamente seguro, y confirmado además por otro pasaje de la *Har-*

bierto experimentalmente por Mersenne en 1644 (cf. *Cogitata physico-mathematica, Phenomena ballistica*, París, 1644, propositio XV, septimo, p. 42) y teóricamente por Huygens que, en 1659, demostró que la línea «tautocrona» de caída es la cicloide y no el círculo (el mismo descubrimiento fue realizado, independientemente, por Lord Brounker, en 1662). En cuanto al hecho de que la cicloide sea, al mismo tiempo, de caída más rápida (braquistocrona), fué demostrado por J. Bernoulli en 1696, e independientemente —como respuesta al desafío de Bernoulli— por Leibniz, L'Hôpital y Newton.

[24] Este reloj, o más exactamente, su mecanismo central regulador, fue construido por Viviani; cf. *Lettera di Vincenzio Viviani al Principe Leopoldo de' Medici intorno al applicazione del pendolo all'orologio*, en Galileo Galilei, *Opere*, Ed. Naz., t. 19, pp. 647 ss., Florencia, 1907; cf. igualmente E. Gerland-F. Traumüller, *Geschichte der physikalischen Experimenlierkunst*, pp. 120 ss., Leipzig, W. Engelmann, 1890; L. Defossez, *op. cit.*, pp. 113 ss.

[25] Cf. *Harmonie universelle*, t. 1, pp. 132 ss., París, 1636.

[26] *Ibid.*, p. 136: «Quoy qu'il en soit, cette manière d'Horloge peut servir aux observations des Eclypses de Soleil, et de la Lune, car l'on peut conter les secondes minutes par les tours de la chorde, tandis que l'autre fera les observations, et marquer combien il y aura de secondes, de la premiere à la seconde et à la troisieme observation, etc.»

«Les médecins pourront semblablement user de cette méthode pour reconnoitre de combien de poux de leurs malades sera plus vite ou plus tardif à diverses heures, et divers jours, et combien les passions de cholere, et les autres le hastent ou le retardent; par exemple, s'il faut une chorde de trois pieds de long pour marquer la durée du poux d'aujourd'hui par l'un de ses trous, et qu'il en faille deux, c'est-à-dire un tour et un retour pour le marquer demain, ou qu'il ne faille plus qu'une chorde longue de 3/4 de pied pour faire un tour en mesme temps que le poux bat une fois, il est certain que le poux bat deux fois plus viste.»

monie universelle, que no sólo utilizó un péndulo, sino también que ese péndulo tenía una longitud de tres pies y medio [27]. En efecto, el período de tal péndulo es, según Mersenne, exactamente igual a un «segundo del primer móvil» [28].

Los resultados de los experimentos de Mersenne, «realizados más de cincuenta veces», están completamente de acuerdo: el cuerpo, al caer, atraviesa 3 pies en medio segundo, 12 en un segundo, 48 en dos, 108 en tres y 147 en tres y medio. Lo que supone casi el doble (un 80 por 100 más) de las cifras dadas por Galileo. Así, pues, Mersenne escribe [29]:

> Pero en cuanto al experimento de Galileo, no me puedo imaginar de dónde procede la gran diferencia que encontramos aquí en París, y en sus alrededores, respecto al tiempo de las caídas, que siempre nos ha parecido mucho menor que el suyo: no es que yo quiera achacar a tan gran hombre poco cuidado en sus experimentos: pero yo los he hecho varias veces desde diferentes alturas, en presencia de varias personas juiciosas, y siempre han sucedido de la misma forma: porque si la braza de la cual se ha servido Galileo sólo tiene un pie y dos tercios, es decir 20 pulgadas del pie de rey que se usa en París, es seguro que la bola desciende más de cien brazas en cinco segundos.

[27] *Ibid.*, p. 220; Corolario 9: «Lorsque j'ay dit que la chorde de 3 pieds et demy marque les secondes par les tours ou retours, je n'empesche nullement que l'on accourcisse la chorde, si l'on trouve qu'elle soit trop longue, et que chacun de ses tours dure un peu trop pour une seconde, comme j'ay quelquefois remarqué, suivant les différentes horloges communes ou faites exprez: par exemple le mesme horloge commun, dont j'ay souvent mesuré l'heure entiere avec 3.600 tours de la chorde de 3 pieds et demy, n'a pas fait d'autres fois son heure si longe: car il a fallu seulement faire la chorde de 3 pieds pour avoir 900 retours dans l'un des quarts d'heure dudit horloge: j'ay experimenté sur une monstre a rouë faite exprez pour marquer les seules secondes minutes, que la chorde de 2 pieds et demi ou environ faisoit les tours esgaux ausdites secondes. Ce qui n'empesche nullement la vérité ny la iustesse de nos observations, à raison qu'il suffit de sçavoir que les secondes dont ie parle, sont esgales à la durée des tours de ma chorde de 3 pieds et demy: de sorte que si quelqu'un peut diviser le jour en 24 parties esgales, il verra aisément si ma seconde dure trop, et de combien est trop longue.» Para sus experiencias ulteriores relatadas en *Cogitata physico-mathematica, phenomena ballistica*, pp. 38 ss., Mersenne utilizaba un péndulo de sólo tres pies. Había observado que el de tres pies y medio era un poco demasiado largo, aunque la diferencia fuera prácticamente imperceptible; cf. *Cogitata*, p. 44.

[28] «Un segundo del primer móvil» es el tiempo en el cual el «primer móvil» (es decir, los cielos o la Tierra) efectúa una rotación de un segundo.

[29] Cf. *Harmonie universelle*, t. 1, p. 86.

En efecto, explica Mersenne, «los 100 codos de Galileo equivalen a 166 2/3 de 'nuestros' pies»[30]. Pero los experimentos personales de Mersenne, «repetidos más de cincuenta veces», han dado resultados completamente diferentes. Según ellos, en cinco segundos un cuerpo pesado no atravesará 100, sino 180 codos o 300 pies.

Mersenne no nos dice que realmente haya hecho caer cuerpos pesados de una altura de 300 pies: aplicando la «proporción doble» a los datos experimentales a su disposición es como llega a esta conclusión. Sin embargo, como estos datos «demuestran» que un cuerpo pesado cae 3 pies en medio segundo, 12 en un segundo, 48 en dos, 108 en tres y 147 en tres y medio[31] —cifras que concuerdan perfectamente con la proporción doble—, Mersenne se cree autorizado, e incluso obligado, a afirmar que un cuerpo pesado caerá 166 pies 2/3 en tres segundos 18/25 sólo, y no en cinco. Además, añade, de las cifras de Galileo resultaría que un cuerpo pesado no caería más que un codo por medio segundo, y cuatro codos (es decir, alrededor de 6 pies 2/3) en un segundo, en lugar de los 12 pies que en realidad recorre.

Los resultados de los experimentos de Mersenne —las cifras que él obtiene, de las que se siente muy orgulloso, y de las que se sirve para calcular el tiempo en el cual los cuerpos caerían de todas las alturas posibles (incluso desde la Luna y desde las estrellas[32]), y la longitud de toda clase de péndulos con períodos que van hasta treinta segundos— constituyen sin duda alguna un progreso en relación con los resultados obtenidos por Galileo. Sin embargo, implican una consecuencia bastante embarazosa, opuesta no sólo al sentido común y a las enseñanzas fundamentales de la mecánica, sino también a los

[30] En realidad, el pie utilizado por Galileo es más corto —29,57 cm— que el pie real (32,87 cm) utilizado por Mersenne. La diferencia entre sus respectivos datos es, por lo tanto, mucho mayor aún de lo que éste último supone.

[31] En realidad, Mersenne obtuvo 110 y no 108 pies por una parte, y 146 1/2 por otra. Pero Mersenne no cree en la posibilidad de alcanzar la exactitud mediante la experiencia —teniendo en cuenta los medios de los que dispone, tiene toda la razón del mundo —y, por lo tanto, supone que tiene derecho a corregir los datos experimentales para adaptarlos a la teoría. De nuevo, tiene toda la razón, aunque evidentemente es mucho el tiempo que resta (y lo hace), más allá del margen de error experimental. Es inútil decir que la manera de actuar de Mersenne ha sido seguida por la ciencia desde siempre. Cf. apéndice 2.

[32] Cf. *Ibid.*, p. 140. En sus cálculos, Mersenne supone —como Galileo— que el valor de la aceleración es una constante universal.

cálculos del mismo Mersenne: el descenso por la periferia del círculo es más rápido que el descenso por la «perpendicular» [33].

Mersenne no parece haberse dado cuenta de esta consecuencia (ni ningún otro, por otra parte), por lo menos durante algunos años. En todo caso, no la menciona antes de los *Cogitata physico-mathematica*, de 1644, en que, reanudando la discusión de la ley de la caída y de las propiedades del péndulo, la constata, aunque de una manera un poco vaga, al mismo tiempo que la falta de isocronismo de las oscilaciones grandes y pequeñas [34].

Habiendo explicado de este modo qué extraño es que un péndulo de tres pies (que ahora utiliza en vez del de tres pies y medio que utilizaba anteriormente) haga su semioscilación exactamente en medio segundo (es decir, descienda tres pies), cuando cuerpos que caen en caída libre atraviesan doce pies en un segundo (lo que supone exactamente tres pies en medio segundo) mientras que, según los cálculos hechos en la *Harmonie universelle,* debería atravesar en el tiempo de una semioscilación 4/7 del semidiámetro [35] (es decir, 33/7 ó 5 pies), continúa:

...esto explica una gran dificultad porque los dos [hechos] han sido confirmados mediante numerosas observaciones, a saber, que cuerpos que caen atraviesan en la perpendicular sólo 12 pies, y que el péndulo de 3 pies desciende de C a B en medio segundo; lo cual no puede producirse mas que si el glóbulo [del péndulo] desciende de C de B en la circunferencia al mismo tiempo que un glóbulo similar [cae] en la perpendicular AB. Ahora bien, como éste debería bajar 5 pies en el tiempo en que el glóbulo va de C a D, no veo ninguna solución.

Ciertamente se podría suponer que los cuerpos caen más deprisa de lo que se admite; pero esto sería contrario a todas las observaciones. Por tanto, tendríamos, precisa Mersenne, que aceptar que los cuerpos caen en la perpendicular a la misma velocidad que descienden en el círculo, o que el aire opone más resistencia al movimiento hacia abajo que al movimiento oblicuo, o, finalmente, que los cuerpos atraviesan en caída libre más de 12 pies en un segundo y más de 48 en dos; pero a causa

[33] La bola cae por el cuadrante del círculo tan de prisa como por el radio, si este radio es igual a 3 pies, o aún más de prisa si el radio es igual a 3 pies 1/2.

[34] Cf. *Cogitata physico mathematica, phenomena ballistica,* pp. 38 y 39; véase apéndice 3.

[35] Cf. *Ibid.,* p. 41.

de la dificultad que hay en definir con precisión, al oír el sonido de la percusión del cuerpo sobre el suelo, el momento exacto del impacto, todas nuestras observaciones referentes a esta cuestión son radicalmente falsas [36].

A Mersenne le debió costar admitir que sus experimentos, realizados de modo tan cuidadoso, eran falsos, y que sus largos cálculos y sus tablas, basadas en esos experimentos, no tenían ningún valor. Pero era inevitable. Una vez más tenía que reconocer que la precisión no podía realizarse en la ciencia y que sus resultados sólo tenían un valor aproximativo. Por tanto, no es de extrañar que, en sus *Reflexiones physico-mathematicae* de 1647, haya tratado, por una parte, de perfeccionar sus métodos experimentales —por ejemplo, manteniendo la péndola del péndulo y el cuerpo descendente (esferas de plomo similares) con una sola mano, para asegurar la simultaneidad del comienzo de sus movimientos [37] y fijando su péndulo a una pared para asegurar la simultaneidad del fin de esos movimientos mediante la coincidencia de dos sonidos producidos por el choque del péndulo contra la pared y por el del cuerpo al caer sobre el suelo— y que, por otra parte, haya tratado de explicar, de un modo bastante prolijo, la carencia de exactitud de los resultados [38], lo que, por otra parte, confirma los resultados de sus investigaciones anteriores: el cuerpo parece caer desde 48 pies en dos segundos más o menos, y desde 12 en un segundo. Sin embargo, insiste Mersenne, es imposible determinar exactamente la longitud del péndulo cuyo período sería exactamente un segundo, y tampoco es posible percibir, mediante el oído, la coincidencia exacta de los dos sonidos. Una o dos pulgadas, o incluso uno o dos pies de más o menos no supone ninguna diferencia. Por tanto, concluye, tenemos que contentarnos con aproximaciones sin pedir más.

Casi al mismo tiempo en que Mersenne realizaba sus experimentos, otra investigación experimental de las leyes de la caída, conectada con una determinación experimental del valor de g, se realizaba en Italia por un equipo de sabios jesuitas dirigido por el célebre autor del *Almagestum novum*, el R. P.

[36] Es interesante observar que Mersenne determina en sus experimentos el momento de llegada del cuerpo que cae a tierra no mediante la vista, sino mediante el oído; Huygens seguirá el mismo método, sin duda por influencia de Mersenne.

[37] Cf. *Reflexiones physico-mathematicae*, 18, París, 1647, pp. 152 ss.

[38] Cf. *Ibid.*, 19, p. 155: *De variis difficultatibus ad funependulum et casum gravium pertinentibus.*

Giambattista Riccioli[39], que, bastante curiosamente, ignoraba toda la obra de Mersenne.

Los historiadores de la ciencia no tienen a Riccioli en gran estima[40], en lo cual no llevan toda la razón. Sin embargo, hay que reconocer que no sólo es mejor experimentador que el P. Mersenne, sino que también es mucho más inteligente y que tiene una comprensión infinitamente más profunda del valor y del sentido de la precisión que el amigo de Descartes y de Pascal.

Fue en 1640, cuando era profesor de filosofía en el *Studium* de Bolonia, cuando Riccioli inició una serie de investigaciones de las que daré un breve resumen[41], insistiendo en la manera cuidadosamente elaborada y metódica en que la trabajó. No quiere admitir nada como evidente y, aunque firmemente convencido del valor de las deducciones de Galileo, trata antes que nada de establecer o, mejor dicho, verificar si la tesis del isocronismo de las oscilaciones pendulares es exacta, y luego, si la relación establecida por Galileo entre la longitud del péndulo y su período (período proporcional a la raíz cuadrada de la longitud) resulta confirmada por la experiencia; y, finalmente, de determinar lo más precisamente posible el período de un péndulo, para obtener de este modo un instrumento de medición del tiempo utilizable para la investigación experimental de la velocidad de caída.

Riccioli comienza por preparar un péndulo adecuado para este experimento: una péndola esférica de metal suspendida

[39] La relación de estos experimentos está incluida en el *Almagestum novum, astronomiam veterem novamque complectens observationibus aliorum et propiis, novisque theorematibus, problematibus ac tabulis promotam... auctore P. Johanne Baptista Riccioli Societatis Jesu...*, Bolonia, 1651. La obra debería tener tres volúmenes, pero el primero, en dos partes, fue el único publicado. En realidad, este primer tomo es un volumen de 1504 páginas (in-folio).

[40] Riccioli es, sin duda, un anti-copernicano y, en sus grandes obras —*Almagestum novum* (1651) y *Astronomia reformata* (1665)— acumula argumento sobre argumento para refutar a Copérnico, lo cual es ciertamente lamentable, pero después de todo más bien natural en un jesuita. Sin embargo, no oculta su gran admiración por Copérnico y por Kepler, y da una exposición sorprendentemente correcta y honrada de las teorías astronómicas que critica. Es sumamente instruido y sus obras, en particular el *Almagestum novum*, son una incomparable fuente de información. Todo esto hace mucho más sorprendente su ignorancia de las obras de Mersenne.

[41] Cf. *Almagestum novum*, 1 (1), libro II, cap. XX y XXI, pp. 84 ss., y 1 (2), libro IX, sec. IV, 2, pp. 384 ss. He presentado un informe sobre las experiencias de Riccioli en el *Congrès International de Philosophie des Sciences* (París, 1949).

de una cadena [42] unida a un cilindro metálico que gira libremente en dos cavidades, igualmente metálicas. Durante una primera serie de experimentos, trata de verificar lo que afirma Galileo respecto a la constancia del período del péndulo, contando el número de oscilaciones del péndulo en un tiempo dado. El tiempo se mide mediante una clepsidra y Riccioli, demostrando una profunda comprensión de las condiciones empíricas de la experimentación y de la medición, explica que este doble proceso, consistente en vaciar y llenar de nuevo la clepsidra, es el que tiene que tomarse como unidad de tiempo. Los resultados de esta primera serie de experimentos confirman las afirmaciones de Galileo.

Una segunda serie de experimentos —para la cual Riccioli utiliza dos péndulos, con el mismo peso pero con longitud («altura») diferente, a saber, de uno y dos pies— confirma la relación de raíz cuadrada establecida por Galileo. El número de oscilaciones por unidad de tiempo es respectivamente de 85 y de 60 [43].

Seguramente, Mersenne se hubiera detenido ahí. Pero no Riccioli. Este comprende perfectamente que, incluso utilizando su método consistente en darle la vuelta a la clepsidra, se está aún lejos de la auténtica precisión. Por esto debemos todavía mirar hacia otra parte, es decir, a los cielos, el único *horologium* realmente exacto que existe en el mundo, los *organa chronou* dados por la naturaleza, los movimientos de los cuerpos y de las esferas celestes.

Riccioli se da perfectamente cuenta de la importancia capital del descubrimiento galileano: el isocronismo del péndulo nos permite realizar un cronómetro *preciso*. En efecto, el hecho de que las oscilaciones grandes y pequeñas se realicen en el mismo tiempo implica la posibilidad de mantener su movimiento tanto tiempo como queramos contrariando su proceso de detención normal y espontáneo; por ejemplo, dándole un nuevo impulso después de un cierto número de oscilaciones [44]; de este modo se puede acumular y sumar cualquier número de átomos de tiempo.

Sin embargo, está claro que, para poder utilizar el péndulo como instrumento *preciso* para medir el tiempo, tenemos que determinar *exactamente* el valor de su período. Esa es la tarea

[42] Cf. *Almagestum novum,* a (1), libro II, cap. XX, p. 84.

[43] Cf. *Ibid.*, cap. XXI, prop. VIII, p. 86.

[44] Esta puesta en movimiento del péndulo no es en absoluto fácil y requiere un entrenamiento prolongado.

a la que, con una paciencia incansable, se consagrará Riccioli. Su objetivo es construir un péndulo cuyo período fuera exactamente de un segundo[45]. Pero, a pesar de todos sus esfuerzos, nunca será capaz de alcanzar su objetivo.

Para empezar, coge un péndulo de alrededor de una libra de peso y una altura de 3 pies y 4 pulgadas (romanas)[46]. La comparación con la clepsidra ha sido satisfactoria: 900 oscilaciones en un cuarto de hora. Riccioli procede entonces a una verificación mediante un cuadrante solar. Durante seis horas consecutivas, de nueve de la mañana a tres de la tarde, cuenta las oscilaciones (ayudado por el R. P. Francesco Maria Grimaldi). El resultado es desastroso: 21.706 oscilaciones, en vez de 21.660. Además, Riccioli reconoce que, para el objetivo que se ha fijado, el mismo cuadrante solar carece de la precisión necesaria. Se prepara otro péndulo y, «con la ayuda de nueve padres jesuitas»[47], vuelve a contar; esta vez —el 2 de abril de 1642—, durante veinticuatro horas consecutivas, de mediodía a mediodía; el resultado es de 87.998 oscilaciones, mientras que el día solar sólo contiene 86.640 segundos.

Riccioli construye a continuación otro péndulo, alargando la cadena de suspensión a 3 pies y 4,2 pulgadas. Y, para aumentar más la precisión, decide tomar como unidad de tiempo no el día solar, sino el día sideral. Se comienza a contar en el momento del paso por el meridiano de la cola del León (el 12 de mayo de 1642) hasta su nuevo paso, el día 13. Nuevo fracaso: 86.999 oscilaciones en lugar de las 86.400 previstas.

Decepcionado, pero sin rendirse aún, Riccioli decide hacer un cuarto intento con un cuarto péndulo, esta vez un poco más corto, es decir, de 3 pies y 2,67 pulgadas tan sólo[48]. Pero no puede imponer a sus compañeros la aburrida y agotadora tarea de contar las oscilaciones. Sólo el P. Zenón y el P. F. M. Grimaldi permanecen fieles hasta el final. Tres veces, tres noches, el 19 y el 28 de mayo, y el 2 de junio de 1645, se cuentan las vibraciones a partir del paso por el meridiano de Spica (cons-

[45] Riccioli, como veremos, no se contenta tan fácilmente como Mersenne.

[46] Un pie romano es igual a 29,57 cm.

[47] Cf. *Almagestum novum, loc. cit.*, p. 86. Los nombres de estos padres merecen ser protegidos del olvido como ejemplos de devoción a la ciencia; son éstos (cf. *Ibid.*, 1 (2), p. 386); Stephanus Ghisonus, Camillus Rodengus, Jacobus Maria Pallavacinus, Franciscus Maria Grimaldus, Vicentius Franciscus Adurnus, Octavius Rubens.

[48] Cf. *Ibid.*, p. 87.

telación de la Virgen) hasta el Arcturus. Dos veces, las cantidades son de 3.212, y la tercera, de 3.214 para 3.192[49] segundos.

Llegado a este punto, Riccioli parece hartarse. Después de todo, su péndulo, cuyo período es igual a 59,36", es un instrumento perfectamente utilizable. La transformación en segundos del número de oscilaciones es fácil. Además, se puede facilitar mediante tablas previamente calculadas[50].

Sin embargo, a Riccioli le inquieta haber fracasado. Así, pues, trata de calcular la «altura» de un péndulo que se balanceará exactamente en un segundo, y halla que un péndulo de tal clase debería tener 3 pies y 3,27 pulgadas[51]. Reconoce, no obstante, no haberlo construido. Por otra parte, seguramente construyó péndulos mucho más cortos con el fin de aportar más perfección a la medición de los intervalos temporales: uno de 9,76 pulgadas con el período de 30"; otro, todavía más corto, de 1,15 pulgadas, cuyo período es sólo de 10".

«Es un péndulo así el que he utilizado —escribe Riccioli— para medir la velocidad de la caída natural de los cuerpos pesados» en los experimentos realizados en ese mismo año de 1645 en la Torre degli Asinelli, en Bolonia[52].

En realidad, es manifiestamente imposible utilizar un péndulo tan rápido sin hacer otra cosa que contar sus oscilaciones; hay que encontrar algún medio de totalizarlas. Dicho de otro modo, hay que construir un reloj. Efectivamente, fue un reloj. El primer reloj de péndulo, lo que Riccioli construyó para sus experimentos. Sin embargo, sería difícil considerarle como un gran relojero, como un predecesor de Huygens o de Hooke. En realidad, su reloj no tenía ni resorte, ni siquiera aguja, ni cuadrante; no era un reloj mecánico, sino un reloj humano.

Para poder totalizar los latidos de su péndulo, Riccioli imaginó un medio muy simple y muy elegante. Hizo que dos de sus colaboradores y amigos, «dotados no sólo para la física, sino también para la música, contaran *un, de, tre*... (en dialecto boloñés, en que esas palabras son más cortas que en italiano), de una manera perfectamente regular y uniforme como deben hacerlo quienes dirigen la ejecución de obras musicales, de tal

[49] Cf. *Ibid.*, p. 85. Como el movimiento del péndulo no es isócrono, la exquisita concordancia de los resultados de las experiencias de Riccioli sólo puede explicarse si suponemos que hizo que sus péndulos fueran capaces de efectuar oscilaciones *pequeñas* y prácticamente iguales.

[50] Riccioli da estas tablas en el *Almagestum novum*, 1 (1), libro 2, capítulo XX, prop. XI, p. 387.

[51] Cf. *Ibid.*, y 1 (2), p. 384.

[52] Cf. *Ibid.*, 1 (1), p. 87.

manera que la pronunciación de cada cifra correspondiera a una oscilación del péndulo»[53]. Con este «reloj» realizó sus observaciones y sus experimentos.

La primera cuestión estudiada por Riccioli se refería al comportamiento de los cuerpos «ligeros» y de los cuerpos «pesados»[54]. ¿Caen a la misma velocidad o a velocidades diferentes? Cuestión muy importante y muy controvertida, a la cual, como sabemos, daban respuestas diferentes la física antigua y la física moderna. Mientras que los aristotélicos sostenían que los cuerpos caen tanto más rápidamente cuanto más pesados son, Benedetti había enseñado que todos los cuerpos, al menos todos los cuerpos que tuvieran una misma naturaleza (es decir, un mismo peso específico), caen a la misma velocidad. En cuanto a los modernos como Galileo o Baliani, seguidos por los jesuitas Vandelinus y N. Cabeo, enseñaban que todos los cuerpos, cualquiera que fuera su naturaleza o su peso, caen siempre a una velocidad idéntica (en el vacío[55]).

Riccioli quiere resolver este problema de una vez para siempre.

Así, pues, el 4 de agosto de 1645, se pone a trabajar. Se arrojaron esferas de dimensiones iguales, pero de pesos diferentes, hechas respectivamente de arcilla y de papel, cubiertas de tiza (para que su movimiento a lo largo del muro, así como su impacto cuando tocaran el suelo, pudieran ser fácilmente observados) desde lo alto de la Torre degli Asinelli, particularmente cómoda para esta clase de experimentos[56] y suficientemente alta —312 pies romanos— para hacer tales diferencias de velocidad perceptibles. Los resultados de estos experimentos, que Riccioli repitió quince veces, no ofrecen lugar a duda: los cuerpos pesados caen más deprisa que los cuerpos ligeros. El retraso en la caída, que varía, dependiendo del peso y de la dimensión de las bolas, de 12 a 40 pies, no contradice, sin embargo, la teoría desarrollada por Galileo: hay que explicarlo por la resistencia del aire y Galileo lo había previsto. Por otra parte, los hechos observados son completamente incompatibles con las teorías de Aristóteles[57].

[53] Cf. *Ibid.*, 1 (2), p. 384.

[54] Riccioli, con un retraso de cien años con relación a su época, aún cree en la «ligereza» en cuanto cualidad independiente, unida y opuesta a la «pesadez».

[55] Cf. *Ibid.*, p. 387.

[56] La Torre degli Asinelli posee muros verticales y se alza en una plaza amplia y llana.

[57] Cf. *Ibid.*, p. 388.

Riccioli es plenamente consciente de la originalidad y del valor de su obra. Por tanto, se burla de los «semiempiristas» que no saben realizar un experimento auténticamente concluyente; por ejemplo, porque son incapaces de determinar el momento preciso en que el cuerpo choca contra el suelo, afirman —o niegan— que los cuerpos caen a la misma velocidad[58].

El segundo problema estudiado por Riccioli es aún más importante. Quiere verificar la proporción en que el cuerpo, al caer, acelera su movimiento. Como Galileo enseña, se trata de un movimiento «uniformemente disforme» (uniformemente acelerado), es decir, un movimiento en el cual los espacios atravesados son *ut numeri impares ab unitate* o, como afirma Baliani, un movimiento en el cual estos espacios son una serie de numeros naturales. En cuanto a la velocidad, ¿es proporcional a la duración de la caída, o al espacio atravesado[59]? Ayudado por el R. P. Grimaldi, Riccioli construye unas cuantas bolas de yeso, de dimensiones y pesos idénticos. Demuestra —midiendo sus tiempos de caída desde diferentes pisos de la Torre degli Asinelli— que las bolas siguen la ley galileana[60]. Luego pasa a la verificación de este resultado (no hay nada tan característico como esta inversión del procedimiento) arrojando las bolas desde alturas previamente calculadas y determinadas, utilizando todas las torres e iglesias de Bolonia cuyas alturas le convienen, especialmente las de San Pedro, San Petronio, Santiago y San Francisco[61].

Los resultados concuerdan en todos sus detalles. En efecto, su concordancia es tan perfecta, los espacios atravesados por las bolas (15, 60, 135, 240 pies) confirman la ley de Galileo de una manera tan rigurosa que resulta completamente evidente que los experimentadores estaban convencidos de su verdad antes de haber comenzado los ensayos. Lo cual, después de todo, no es sorprendente, porque los experimentos con el péndulo la habían confirmado.

[58] *Ibid.*, y 1 (1), p. 87.

[59] Cf. *Ibid.* Es interesante subrayar que Riccioli utiliza la vieja terminología escolástica e identifica de un modo completamente correcto el movimiento «uniformemente disforme» *(uniformiter difformis)* con el movimiento uniformemente acelerado (o retardado).

[60] Nos cuenta que en realidad reflexionaba sobre el problema desde 1629 y que adoptó la relación 1, 3, 9, 27, antes de 1634, fecha en la que leyó a Galileo, con la autorización de sus superiores. Es interesante observar que antes de haber leído a Galileo, el sapientísimo Riccioli no identificaba el movimiento *uniformiter difformis* con el de la caída.

[61] Cf. *Ibid.*, p. 387. Se prosiguieron las experiencias de 1640 a 1650.

Sin embargo, incluso si admitimos —como tenemos que hacerlo— que los buenos padres corrigieron un poco los resultados concretos de sus mediciones, debemos constatar que estos resultados tienen una sorprendente precisión. Comparados con las toscas aproximaciones de Galileo e incluso con las de Mersenne, representan un progreso decisivo. Era imposible obtenerlos mejores mediante la observación y la medición directas, y hay que admirar la paciencia, la consciencia, la energía y la pasión por la verdad de los RR. PP. Zenón, Grimaldi y Riccioli (así como las de sus colaboradores), que, sin disponer de otro instrumento para medir el tiempo que el reloj humano en el cual se transformaron, fueron capaces de determinar el valor de la aceleración o, más exactamente, la longitud del espacio atravesado por un cuerpo pesado en el primer segundo de su caída libre a través del aire, como igual a 15 pies romanos. Valor que sólo Huygens, utilizando el reloj mecánico inventado por él o, más exactamente, aplicando los métodos directos que su genio matemático le permitió descubrir y utilizar en la construcción de su reloj, será capaz de mejorar.

Es muy interesante y muy instructivo estudiar los *modi procedendi* del gran sabio holandés al cual debemos nuestros relojes. Su análisis nos permite comprobar la transformación de los experimentos aún empíricos o semiempíricos de Mersenne o Riccioli en una experimentación auténticamente científica. Así, pues, este análisis nos enseña algo muy importante: en la investigación científica, el enfoque directo no es el mejor ni el más fácil; los hechos empíricos no pueden alcanzarse sin recurrir a la teoría.

Huygens emprende su trabajo repitiendo (el 21 de octubre de 1659) el último experimento de Mersenne, tal como es descrito por éste en sus *Reflexiones* de 1647; y una vez más nos vemos obligados a insistir en la espantosa pobreza de los medios experimentales de que disponía: un péndulo de cuerda sujeto a la pared; su péndola, una bola de plomo, y otra bola parecida, igualmente de plomo, sostenidas en la misma mano. La simultaneidad de la llegada de las dos bolas, proyectadas una contra el muro y otra contra el suelo, se determina mediante la coincidencia de los dos sonidos producidos por los choques. Es curioso observar que utilizando exactamente el mismo procedimiento que Mersenne, Huygens obtenga resultados mejores; según él, el cuerpo cae 14 pies [62].

[62] Cf. Ch. Huygens, *Obras*, 17, La Haya, M. Nijhof, 1932, p. 278: «II D. I Expertus 21 Oct. 1659. Semisecundo minuto plumbum ex altitudine 3

El 23 de octubre de 1659, Huygens repite el experimento, utilizando esta vez un péndulo cuya semivibración es igual no a medio segundo, sino a tres cuartos de segundo. Durante ese intervalo, la esfera de plomo cae 7 pies y 8 pulgadas. De ello se sigue que en un segundo caería alrededor de 13 pies y 7 pulgadas y media[63].

El 15 de noviembre de 1659, Huygens hace un nuevo intento. Esta vez perfecciona algo su manera de proceder uniendo al mismo tiempo la péndola y la esfera de plomo a un hilo (en lugar de sostenerlos en la misma mano), cuya ruptura los libera. Además, coloca pergaminos en el suelo y en la pared para hacer la percepción de los sonidos más clara. El resultado es de cerca de 8 pies y 9 pulgadas y media. Sin embargo, Huygens se ve forzado a admitir, exactamente igual que Mersenne antes que él, que su resultado sólo es válido de un modo aproximativo, porque esas 3 ó 4 pulgadas de más en la altura de la caída no se pueden distinguir con los medios que ha empleado: los sonidos parecen coincidir. Por tanto, se deduce que no se puede obtener de este modo una medición exacta. Pero la conclusión que saca es muy diferente. Ahí donde Mersenne renuncia a la idea misma de precisión científica, Huygens reduce la función de la experiencia a la verificación de los resultados obtenidos por la teoría. Ya es suficiente cuando no los contradice, como, por ejemplo, en el caso en que las cifras observadas son perfectamente compatibles con las deducidas del análisis del movimiento del péndulo circular, es decir, alrededor de los 15 pies y 7 pulgadas y media por segundo[64].

pedum et dimidij vel 7 pollicum circiter. Ergo unius secundi spatio ex 14 pedem altitudine».

[63] Cf. Ch. Huygens, *Obras*, 17, p. 278: «II D. 2. Expertus denuo 23 Oct. 1659. Pendulum adhibui cuius singulae vibrationes 3/2 secundi unius, unde semivibratio qua usus sum erat 3/4.» Erat longitudo penduli circiter 6 p. 11 unc. Sed vibrationes non ex hac longitudine sed conferendo eas cum pendulo horologij colligebam. Illius itaque semivibratione cadebat aliud plumbum simul e digitis demissum ex altitudine 7 pedum 8 unc. Ergo colligitur hinc uno secundo casurum ex altitudine 13 ped. 7 1/2 und. fere.

«Ergo in priori experimento debuissent fuisse non toti 3 ped. 5 poll.

»Sumam autem uno secundo descendere plumbum pedibus 13 unc. 8. Mersenne 12 ped. paris. uno secundo confici scribit, 12 ped. 8 unc. Rhijnland. Ergo Mersenni spatium justo brevius est uno pede Rhijnl.»

Un pie renano es igual a 31,39 cm.

[64] Cf. *Ibid.*, p. 281: «II D. 4. 15 Nov. 1659. Pendulum AB semivibrationi impendebat 3/4 unius secundi; filum idem BDC plumbum B et glandem C retinebat, deinde forficubus filum incidebatur, unde necessario eodem temporis articulo globulus C et pendulum moveri incipiebant. plumbum B in F palimsesto impingebatur, ut clarum sonum excitaret. globulus in fundum capsae GH decidebat. simul autem sonabant, cum CE altitudo

En efecto, el análisis del movimiento pendular da, como ahora veremos, resultados mucho mejores.

Ya he mencionado la situación paradójica de la ciencia moderna en el momento de su nacimiento: posesión de leyes matemáticas exactas e imposibilidad de aplicarlas porque no era realizable una medición precisa de la magnitud fundamental de la dinámica, es decir, del tiempo.

Nadie parece haberla experimentado con mayor intensidad que Huygens y ciertamente es por esta razón, y no por imperativos prácticos tales como la necesidad de tener buenos relojes para la navegación —aunque él no descuidaba en manera alguna el aspecto práctico de la cuestión[65]— por lo que al comienzo de su carrera científica se dedicó a la solución de este problema fundamental y preliminar: la realización, o mejor dicho, la construcción de un cronómetro perfecto.

En 1659, en el año mismo en que hizo las mediciones que acabo de mencionar, consiguió su objetivo construyendo un reloj de péndulo perfeccionado[66]; un reloj que utilizó para determinar el valor exacto de la oscilación del péndulo que había utilizado en sus experimentos.

erat 8 pedum et 9 1/2 unclarum circiter. Sed etsi 3 quatuorve uncijs augeretur vel diminueretur altitudo CE nihilo minus simul sonare videbantur, adeo ut exacta mensura hoc pacto obtineri nequeat. At ex motu conico penduli debebant esse ipsi 8 pedes et 9 1/2 unciae. unde uno secundo debebunt peragi a plumbo cadente pedes 15. une 7 1/2 proxime. Sullicit quod experientia huic mensurae non repugnet, sed quatenus potest eam comprobet. Si plumbum B et globulum C inter digitos simul contineas ijsque *apertis simul dimittere coneris, nequaquam hoc assequeris, ideoque tali* experimento ne credas. Mihi semper hac ratione minus inveniebatur spatium CE, adeo ut totius interdum pedis differentia esset. At cum filum secatur nullus potest error esse, dummodo forfices ante sectionem immotae teneantur. Penduli AB oscillationes ante exploraveram quanti tempora essent ope horologij nostri. Experimentum crebro repetebam. Ricciolus Almag. 1. 9 secundo scrupulo 15 pedes transire gravia statuit ex suis experimentis. Romanos nimirum antiquos quos a Rhenolandicis non differre Snellius probat.»

[65] Por pertenecer a una nación marinera, Huygens tenía perfecta conciencia del valor y de la importancia de un cronómetro para la navegación, así como de las posibilidades financieras de un reloj marino. Se sabe que trató de registrar la patente de su reloj en Inglaterra. Cf. L. Defossez, *op. cit.*, pp. 115 ss.

[66] El primer reloj de péndulo fue construido por Huygens en 1657; contiene ya pinzas curvas que aseguran el isocronismo del péndulo (flexible) y sin embargo estas pinzas no estaban aún construidas sobre una base matemática, sino sobre la sola base del método empírico de los ensayos y los errores. Sólo en 1659 descubrió Huygens el isocronismo de la cicloide y los medios de hacer que el péndulo describiera una cicloide.

En la historia de los instrumentos científicos, el reloj de Huygens ocupa un lugar muy importante: es el primer aparato cuya construcción implica las leyes de la nueva dinámica. Este reloj no es el resultado de ensayos y errores empíricos, sino el del estudio minucioso y sutil de la estructura matemática de los movimientos circulares y oscilatorios.

La misma historia del reloj de péndulo nos proporciona, pues, un ejemplo del valor de una vía indirecta escogida con preferencia a una vía directa.

En efecto, Huygens se da perfecta cuenta de lo que ya Mersenne había descubierto: las pequeñas y las grandes oscilaciones no se efectúan en el mismo tiempo. Por lo tanto, para construir un cronómetro perfecto hay que: *a)* determinar la curva isócrona real; y *b)* encontrar el medio de hacer que la péndola del péndulo se mueva siguiendo esta línea y no el perímetro del círculo. Como sabemos, Huygens consiguió resolver los dos problemas, aunque, para llegar a ello, tuvo que elaborar una teoría geométrica completamente nueva [67]. Realizó un movimiento perfectamente isócrono, es decir, el movimiento que sigue la curva de la cicloide. Finalmente adaptó su péndulo cicloidal a un reloj [68].

En posesión de instrumentos mucho mejores (un reloj mecánico en lugar de un reloj humano), estaba ahora en condiciones de actuar con muchas más probabilidades de alcanzar en sus experimentos una precisión comparable a la de Riccioli. Pero nunca trató de realizarlos, porque, al haber construido un reloj de péndulo, tuvo a su disposición un método de trabajo mucho mejor.

En realidad, no solamente descubrió el isocronismo del movimiento cicloidal, sino también (lo que Mersenne había intentado, pero en vano, descubrir para el círculo) la relación entre el tiempo de descenso de un cuerpo a lo largo de la cicloide y el de su caída a lo largo del diámetro de su círculo generador: estos tiempos son el uno al otro lo que la semicircunferencia es al diámetro [69].

Así pues, si pudiéramos realizar un péndulo (cicloidal) que se balanceara exactamente en un segundo, seríamos capaces de determinar el tiempo exacto del descenso del cuerpo pesado a

[67] La de los desarrollos de las curvas geométricas.

[68] Cf. L. Defossez, *op. cit.*, p. 65. Sobre los intentos contemporáneos de R. Hooke, cf. Louise D. Patterson, «Pendulums of Wren and Hooke», *Osiris*, 10, 1952, pp. 277-322.

[69] Cf. Ch. Huygens, *Devi centrifuga* (1659), *Oeuvres*, 16, La Haya, M. Nijhof, 1929, p. 276.

lo largo de su diámetro y, por lo tanto —al ser los espacios atravesados proporcionales a los cuadrados de los tiempos—, de calcular la distancia de su caída en un segundo.

La longitud de un péndulo de tal clase que, además, no tiene por qué ser un péndulo cicloidal, ya que, como Huygens se lo indicará a Moray[70], las oscilaciones pequeñas de un péndulo común (perpendicular) se realizan prácticamente en el mismo tiempo que las del péndulo cicloidal, se puede calcular fácilmente desde el momento que hemos conseguido determinar el período de un péndulo cicloidal determinado.

Pero, en realidad, no necesitamos preocuparnos de la realización efectiva de un péndulo así, porque la fórmula establecida por Huygens:

$$g = \frac{4\pi^2 r^2 l}{3.600^2} \quad \text{ó} \quad T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

tiene un valor general y determina el valor de g como función de la longitud y de la velocidad de cualquier péndulo que podamos utilizar. En efecto, fue un péndulo bastante corto y rápido el que Huygens utilizó, un péndulo de sólo 6,18 pulgadas que realizaba 4.964 oscilaciones dobles por hora. Por lo tanto, Huygens sacó la conclusión de que el valor de g es de 31,25 pies (es decir, 98 cm), valor que, desde entonces, siempre se ha aceptado[71].

[70] Cf. Ch. Hugens, Carta a R. Moray, 30 de diciembre de 1661, *Obras completas,* publicadas por la Sociedad Holandesa de Ciencias, 3, La haya, M. Nijhof, *1890,* p. 438; «No encuentro que sea necesario igualar el movimiento del péndulo por las porciones de la cicloide para determinar esta medición, pues basta con hacer que se mueva mediante vibraciones muy pequeñas, las cuales observan bastante la igualdad de los tiempos, y buscar también qué longitud es precisa para indicar, por ejemplo, medio segundo por medio de un reloj que marche bien y que se ajuste a la cicloide.»

[71] Cf. Ch. Huygens, *Obras,* 17, p. 100: «Het getal van de dobbele slaegen di het pendulum in een uyr doen moet, gegeven sijnde, quadreert het selve, en met et quadraat divideert daer mede 12312000000. ende de quotiens sal aenwijsen de lenghde van het pendulum, te weten als men de twee laetste cijffers daer af snijt, soo is het resterende het getal der duijmen die het pendulum moet hebben; de 2 afgesnedene cijffers beteijckenen, het een, de tienden deelen van een duijm die daer noch bij moeten gedaen werden, het ander, de 100ste deelen van een duym, van gelijcken daer bijte doen. Rhynlandse maet.

»Bij exempel Een horologe te maecken sijnde diens pendulum 4464 dobbele slagen in een uijr doen sal, het quadraet van 4464 is 19927296 waer mede gedeelt sijnde 12312000000, komt 6/18 ontrent dat is 6 duijm 1/10 en

La moraleja de esta historia, que nos cuenta cómo se determinó la aceleración constante, es bastante curiosa. Hemos visto como Galileo, Mersenne, Riccioli, se esfuerzan en construir un cronómetro para poder realizar una medición experimental de la velocidad de caída. Hemos visto como Huygens triunfa allí donde habían fracasado sus predecesores. Sin embargo, a causa de su mismo éxito, se exime de hacer la medición real porque su cronómetro constituye por así decirlo una medición en sí mismo, y porque la determinación de su período es ya un experimento mucho más refinado y preciso que cualquiera de los imaginados por Mersenne y Riccioli. Ahora comprendemos el sentido y el valor del camino recorrido por Huygens, camino que finalmente resulta un atajo: no sólo los experimentos válidos se fundan en una teoría, sino que también los medios que permiten realizarlos no son otra cosa que teoría encarnada.

APENDICES

1. M. Mersenne, *Harmonie universelle,* París, 1636, pp. 111 y siguientes:

Or il faut icy mettre les expériences que nous avons faites très exactement sur ce suiet, afin que l'on puisse suivre ce qu'elles donnent. Ayant donc choisi une hauteur de cinq pieds de Roy, et ayant fait creuser, et polir un plan, nous luy avons donné plusieurs sortes d'inclinations, afin de laisser rouler une boule de plomb, et de bois fort ronde tout au long du plan: ce que nous avons fait de plusieurs endroits différents suivant les différentes inclinations, tandis qu'une autre boule de mesme figure, et pesanteur tombait de cinq pieds de haut dans l'air; et nous avons trouvé que tandis qu'elle tombe perpendiculairement de cinq pieds de haut, elle tombe seulement d'un pied sur le plan incliné de quinze degrez, au lieu qu'elle devroit tomber seize poulces.

Sur le plan incliné de vingt cinq degrez le boulet tombe un pied 5 demi, il devroit tomber deux pieds, un pouce un tiers: sur celuy de trente degrez il tombe deux pieds: il devroit tomber deux pieds et 1/23 car il feroit six pieds dans l'air, tandis qu'il tombe deux pieds 1/2 sur le plan, au lieu qu'il ne devroit tomber que cinq pieds. Sur le plan incliné de 40 degrez, il devroit tomber trois pieds deux pouces 1/2: et l'experience très exacte ne donne que deux pieds, neuf pouces, car lorsqu' on met le boulet à deux pieds dix pouces loin de l'extrémité

8/100 van een duijm. Indien het getal van de heele duijmen meer is als 12 soo moet het door 12 gedeelt werden om te weten boe veel voeten daer in sijn.»

du plan le boulet qui se meut perpendiculairement chet le premier; et quand on l'éloigne de deux pieds huit pouces sur le plan, il tombe le dernier: et lorsqu'on l'éloigne de deux pieds neuf pouces, ils tombent instement en mesme temps, sans que l'on puisse distinguer leur bruits.

Sur le plan de quarante cinq degrez il devroit tomber trois pieds et 1/2 un peu davantage, mais il ne tombe que trois pieds, et ne tombera point trois pieds 1/2, si l'autre ne tombe cinq pieds 3/4 par l'air.

Sur le plan de cinquante degrez il devroit faire trois pieds dix pouces, il n'en fait que deux et neuf pouces: ce que nous avons repeté plusieurs fois très exactement, de peur d'avoir failly, à raison qu'il tombe en mesme temps de 3 pieds, c'est à dire de 3 pouces davantage sur le plan incliné de 45 degrez: ce qui semble fort estrange, puisqu'il doit tomber dautant plus viste que le plan est plus incliné: Et néanmoins il ne va plus viste sur le plan de 50 degrez que sur celuy de 40: où il faut remarquer que ces deux inclinations sont également éloignées de celle de 45 degrez, laquelle tient le milieu entre les deux extremes, à sçavoir entre l'inclination infinie faite dans la ligne perpendiculaire et celle de l'horizontale: toutefois si l'on considère cet effet prodigieux, l'on peut dire qu'il arrive à cause que le mouvement du boulet estant trop violent dans l'inclination de 50 degrez, ne peut rouler et couler sur le plan, qui le fait sauter plusieurs fois: dont il s'ensuit autant de repos que de sauts, pendant lesquels le boulet qui chet perpendiculairement, avance toujours son chemin: mais ces sauts n'arrivent pas dans l'inclination de 40, et ne commencent qu'après celle de 45, iusques à laquelle la vitesse du boulet s'augmente toujours de telle sorte qu'il peut toujours rouler sans sauter: or tandis qu'il fait trois pieds dix pouces sur le plan incliné de cinquante degrez, il en fait six 1/2 dans l'air au lieu qu'il n'en devroit faire que cinq.

Nous avons aussi experimenté que tandis que la boule fait 3 pieds 10 pouces sur le plan incliné de 50 degrez, elle fait 6 pieds 1/2 par l'air, combien qu'elle ne deust faire que cinq pieds. A l'inclination de 40, elle fait quasi 7 pieds dans l'air, pendant qu'elle fait 3 pieds 2 pouces 1/2 sur le plan; mais l'expérience reiteree à l'inclination de 50, elle fait 3 pieds sur le plan, quoy que la mesme chose arrive à 2 pieds 9 pouces: ce qui monstre la grande difficulté des experiences; car il est très difficile d'appercevoir lequel tombe le premier des deux boulets dont l'un tombe perpendiculairement, et l'autre sur le plan incliné. J'ajoûte néanmoins le reste de nos experiences sur les plan inclinez de 60 et de 65 degrez: le boulet éloigne de l'extremité du plan de 2 pieds, 9 pouces, ou de 3 pieds, tombe en mesme temps que celuy qui chet de cinq pieds de haut perpendiculairement, et néanmoins il devroit cheoir 4 pieds 1/3 sur le plan de 60, et 4 pieds 1/2 sur celuy de 65. Sur le plan de 75 il devroit faire 4 pieds 10 pouces, et l'experience ne donne que 3 pieds 1/2.

Peut estre que si les plans ne donnoient point plus d'empeschement aux mobiles que l'air, qu'ils ne tomberoient suivant les pro-

portions que nous avons expliqué: mais les experiences ne nous donnent rien d'asseuré particulièrement aux inclinations qui passent 45 degrez, parce que le chemin qui fait le boulet, à cette inclination, est quasi égal à celuy qu'il fait sur les plans de 50, 60 et 65; et sur celuy de 75 il ne fait que demi pied davantage.

Mersenne incluso se permite dudar de que Galileo haya realizado efectivamente algunos de los experimentos mencionados por el gran sabio. Refiriéndose, por ejemplo, a los experimentos sobre el plano inclinado descritos por Galileo en su *Dialogo* (no a los descritos en los *Discorsi,* que ya he citado), escribe *(Harmonie universelle,* p. 112, corr. 1):

Je doute que le sieur Galilée ayt fait les experiences des cheutes sur le plan puisqu'il n'en parle nullement, et que la proportion qu'il donne contredit souvent l'experience: et desire que plusieurs esprouvent la mesme chose sur des plans differents avec toutes les précautions dont ils pourront s'aviser, afin qu'ils voyent si leurs experiences respondront aux notres, et si l'on en pourra tirer assez de lumiere pour faire un Theoreme en faveur de la vitesse de ces cheutes obliques, dont les vitesses pourroient estre mesurées par les differents effets du poids, qui frappera dautant plus fort que le plan sera moins incliné sur l'horizon, et qu'il approchera davantage de la ligne perpendiculaire.

2. *Ibid.,* pp. 86-87.

Mais quant à l'expérience de Galilée, on ne peut ni imaginer d'où vient la grande différence qui se trouve icy à Paris et aux environs, touchant le tems des cheutes, qui nous a toujours paru beaucoup moindre que le sien: ce n'est pas que je veuille reprendre un si grand homme de peu de soin en ses expériences, mais on les a faites plusieurs fois de différentes hauteurs, en présence de plusieurs personnes, et elles ont toujours succédé de la mesme sorte. C'est pourquoy si la brasse dont Galilée s'est servy n'a qu'un pied et deux tiers, c'est à dire vingt pouces de pied du Roy dont on use à Paris, il est certain que le boulet descend plus de cent brasses en 5"...

Cecy étant posé, les cent brasses de Galilée font 166 2/3 de nos pieds, mais nos expériences répétées plus de cinquante fois, jointes à la raison doublée, nous contraignent de dire que le boulet fait 300 pieds en 5", c'est à dire 180 brasses, ou quasi deux fois davantage qu'il ne met: de sorte qu'il doit faire les cent brasses, ou 166 pieds 2/3 en 3" et 18/25, qui font 3", 43''', 20'''', et non pas 5", car nous avons prouvé qu'un globe de plomb pesant environ une demie livre et que celuy de bois pesant environ une once tombent de 48 pieds en 2", de 108 en 3", et de 147 pieds en 3" et 1/2. Or les 147 pieds reviennent à 88 et 1/5 brasses; et s'il se trouve de mesconte, il vient plutôt de ce que nous donnons trop peu d'espace aux dits temps, qu'au con-

traire, car ayant laissé cheoir le poids de 110 pieds, il est justement tombé en 3", mais nous prenons 108 pour régler la proportion; et les hommes ne peuvent observer la différence du temps auquel il tombe de 110, ou de 108 pieds. Quant à la hauteur de 147 pieds, il s'en fallait un demi-pied, ce qui rend la raison double très-iuste, d'autant que le poids doit faire 3 pieds en une demie seconde, suivant cette vistesse, 12 pieds dans une seconde minute; et conséquemment, 27 pieds en 1" et 1/2, 48 pieds en 2", 75 en 2" et 1/2, 108 pieds en 3" et 147 pieds en 3" et 1/2, ce qui revient fort bien à nos experiences, suivant lesquelles il tombera 192 pieds en 4" et 300 en 5", pendant lequel Galilée ne met que 166 pieds ou 100 brasses, selon lesquelles il doit faire une brasse en une demie seconde, 4 en 1", ce qui font près de 6 pieds 2/3, au lieu de 12 que le poids descend en effet.

3. M. Mersennus, *Cogitata physico-mathematica,* phenomena ballistica, Parisii, 1644, Propositio XV. Grauium cadentium velocitatem in ratione duplicata temporum augeri probatur ex pendulis circulariter motis, ipsorumque pendulorum multifarius usus explicatur, 38-44.

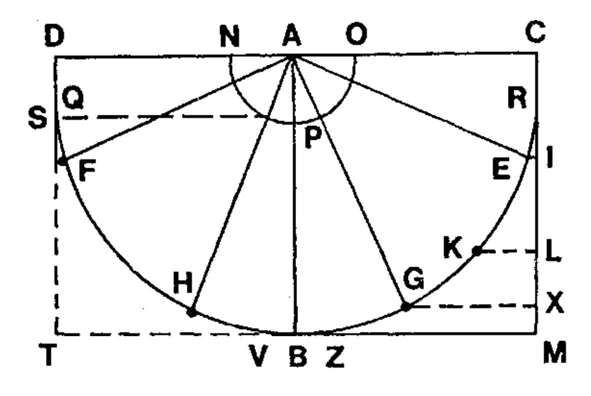


Fig. 1

Certum est secundo filum a puncto C ad B cadens temporis insumere tantundem in illo casu, quantum insumit in ascensu a B ad D per circumferentiam BHFD; sit enim filum AB 12 pedum, docet experientia globum B tractum ad C, inde ad B spatio secundi minuti recidere, & alterius secundi spatio a B versus D ascendere. Si vero AB trium pedum fuerit, hoc est praecedentis subquadruplum, spatio dimidij secundi a C descendet ad B, & aequali tempore a B ad D vel S perueniet; ad D si filum & aer nullum afferant impedimentum, cum impetus ex casu C in B impressus sufficiat ad promouendum globum pendulum ad D punctum.

Globus igitur spatio secundi percurret dimidiam circumferentiam CBD, & aequali tempore a D per B versus C recurret; donec hinc inde vibratus tandem in puncto B quiescat, siue ab aeris & fili resistentiam vnicuique cursui & recursui aliquid detrahentem, siue ob ipsius impetus naturam, quae sensim minuatur, qua de re postea. Nota vero globum plumbeum vnius vnciae filo tripedali appensum, non prius quiescere postquam ex puncto C moueri coepit, quam trecenties sexagies per illam semicircumferentiam ierit; cuius postremae vibrationes a B ad V sunt adeo insensibiles, vt illis nullus ad obseruationes vti debeat, sed alijs maioribus, quales sunt ab F, vel ab H ad B.

Certum est tertio filum AP fili AB subquadruplum vibrationes suas habere celeriores vibrationibus fili BA; esseque filum AB ad PA in ratione duplicata temporum quibus illorum vibrationes perficiuntur, atque adeo tempora habere se ad filorum longitudines vt radices ad quadrata; quapropter ipsae vibrationes sunt in eadem ac tempora ratione.

Sexto, filum tripedale potest alicui iusto videri longius ad secundum minutum qualibet vibratione notandum, cum enim in linea perpendiculari AB graue cadens citius ad punctum B perueniat, quam vbi ex C vel D per circumferentiae quadrantem movetur, quandoquidem AB linea breuissime ducit ad centrum grauium, & tamen ex observationibus grauia cadentia tripedale duntaxat interuallum ab A ad B semisecundo, & 12 pedes secundo conficiant, illud filum tripedale minus esse debere videtur: Iamque lib. 2. de causis sonorum, corrollario 3. prop. 27. monueram eo tempore quo pendulum descendit ab A, vel C and B per CGB, posita perpendiculari AB 7 partium, graue per planum horizonti perpendiculare partes vndecim descendere.

Quod quidem difficultatem insignem continet, cum vtrumque multis observationibus comprobatum fuerit, nempe grauia perpendiculari motu duodecim solummodo pedes spatio secundi, globum etiam circumferentiae quadrantem, cuius radius tripedalis, a D ad B semisecundo percurrere; fieri tamen requeunt nisi globus a C ad B per circumferentiae quadrantem descendat eodem tempore quo globus aequalis per AB: qui cum pedes 5 perpendiculariter descendat eo tempore quo globus a C ad D peruenit, nulla mihi solutio videtur; nisi maius spatium a graui perpendiculariter cadente percurri dicatur quam illud quod hactenus notaueram, quod cum an vno quoque possit obseruari, nec vlla velim mentis anticipatione praeiudicare, nolui dissimulare nodum, quem alius, si potis est, soluat. Vt vt sit obseruatio pluries iterata docet tripedale filum nongentesies spatio quadrantis horae vibrari, ac consequenter horae spatio 3600: quapropter si per lineam perpendicularem graue 48 pedes spatio 2 secundorum exacte percurrat, vel fatendum est graue aequali tempore ad eandem altitudine per circuli quadrantem, ac per ipsam perpendicularem cadere, vel aerem magis obsistere grauibus perpendiculariter, quam oblique per circumferentiae quadrantem descendentibus, vel graue plures quam 12 pedes secundi

spatio. aut plusquam 48 duobus secundi descendere, in eo fefelisse observationes, quod allisio, grauium ad pauimentum aut solum ex audito sono indicata fuerit, qui cum tempus aliquod in percurrentis 48 pedibus insumat, quo tamen graue non amplius descendit, augendum videtur spatium a grauibus perpendiculariter confectum.

Septimo, globus B ex C in B cadens paulo plus temporis quam ab E, & ab E quam G insumit, adeout fila duo equalia, quorum vnum a C, aliud a G suas vibrationes incipiat, quod a G incipit, 36 propemodum uibretur, dum quod a C incipit 35 duntaxat vibratur, hoc est vnam vibrationem lucretur quod a G cadit, a quo si quamlibet vibrationem inciperet, & aliud suam quamlibet a punto C, longe citius illam vibrationem lucraretur. Quanto vero breuiori tempore globus leuior, verbi gratia suberis, suas vibrationes, faciat, quamtoque citius vibrationum suarum periodum absoluat, lib. 2. de causis sonorum prop. 27 & alijs harmonicorum nostrorum locis reperies.

Duodecimo, pendulorum istorum vibrationes pluribus vsibus adhiberi possunt, vt tractatu de horologio vniversali, & harmonicorum tum Gallicorum 1. 2. de motibus, & alijs pluribus locis, tum Latinorum etiam 2. de causis sonorum a prop. 26. ad 30. dictum est.

... Tantum addo me postea deprehendisse fili tripedalem longitudinem sufficere, quae sua qualibet vibratione minutum secundum notet, cum praedictis locis pedibus 3 ½ vsus fuerim: sed cum vnusquisque, debeat experiri, cum horologio minutorum secundorum exactissimo, filum quo deinceps in suis vtatur obseruationibus, non est quod hac de re pluribus moneavi: adde quod in mechanicis filum illud siue tripedale, siue pedum 3 ½ satis exacte secunda repraesentet, vt experientia conuictus fateberis: hinc in soni velocitate reperienda, quae secundo 230 hexapedas tribuit, hoc filo vsus sum, quo medici possint explorare varios singulis diebus aegrotorum, sanorumque pulsus.

GASSENDI Y LA CIENCIA DE SU TIEMPO *

En un primer momento, hablar de Gassendi en sus relaciones con la ciencia de su tiempo puede parecer una broma. Y una injusticia. En efecto, Gassendi no es un gran sabio y en la historia de la ciencia, en el sentido estricto del término, el lugar que le corresponde no es muy importante. Es evidente que no se le puede comparar con los grandes genios que iluminaron su época, con un Descartes, un Fermat, un Pascal, ni siquiera con un Roberval o con un Mersenne. No inventó nada, no descubrió nada, y como observó en una ocasión Rochot, que no es sospechoso de antigassendismo, no hay una ley de Gassendi. Ni siquiera falsa.

Aún es más grave. Porque, por extraño que parezca —o que sea—, este encarnizado adversario de Aristóteles, este decidido partidario de Galileo permanece ajeno al espíritu de la ciencia moderna, y especialmente al espíritu de matematización que la anima. No es un matemático y, por eso, no siempre comprende el sentido exacto de los razonamientos galileanos (como la deducción de la ley de la caída de los cuerpos); más aún, su empirismo sensualista parece impedirle comprender la función preeminente de la teoría, y especialmente de la teoría matemática, en la ciencia; por esta razón su física, siendo, y queriendo ser, antiaristotélica, sigue siendo tan cualitativa como la de Aristóteles y casi nunca sobrepasa el nivel de la experiencia bruta para elevarse al de la experimentación.

Pero no seamos demasiado severos y tratemos de evitar el anacronismo. Porque si, *para nosotros*, Gassendi no es un gran

* Se ha extraído este artículo de la obra *Tricentenaire de Pierre Gassendi, 1655-1955, Actes du Congrès* (París, Presses Universitaires de France, 1957, pp. 175-190). Es una versión completa de una ponencia presentada en las «Journées gassendistes» del Centre International de Synthèse el 23 de abril de 1953 y publicada en la compilación *Pierre Gassendi, sa vie et son oeuvre* (París, Albin Michel, 1955), pp. 60-69.

sabio, lo era, y muy grande, para sus contemporáneos, el igual y rival de Descartes [1].

Ahora bien, un historiador siempre debe tener en cuenta la opinión de los contemporáneos; incluso cuando la posteridad ha invalidado su juicio. Sin lugar a dudas se equivocan a veces; pero, por otra parte, ven muchas cosas que se nos escapan. Por otra parte, en lo que se refiere a Gassendi, sus contemporáneos sólo se equivocaron a medias; efectivamente fue un rival, e incluso, en ciertos aspectos, un rival victorioso de Descartes, y ejerció sobre la segunda mitad del siglo una de las influencias más considerables [2]. Incluso sobre espíritus de mayor talla —desde el punto de vista científico— que él mismo, como, por ejemplo, Boyle y Newton.

Y fue porque, aunque no contribuyó mas que en muy poca medida —con una o dos excepciones, de las que hablaré más adelante— al desarrollo de la ciencia moderna, hizo algo mucho más importante: le aportó la ontología, o más exactamente, el complemento ontológico que le era necesario. En efecto si, como ya he dicho anteriormente, la ciencia moderna es una revancha de Platón, Platón no llevó a cabo esta revancha victoriosa solo. Fue una alianza —alianza contra natura, sin lugar a dudas, pero la historia ha conocido muchas otras— de Platón con Demócrito la que terminó con el imperio de Aristóteles, y fue justamente la ontología democrítea o epicúrea —que por otra parte modificó haciendo desaparecer de ella el *clinamen* y la esencial pesadez, pero de la cual conservó lo esencial, a saber, los átomos y el vacío— la que Gassendi aportó al siglo XVII y la que puso en orden de batalla contra el Estagirita. Precisamente el caso Gassendi nos muestra que en la historia del pensamiento científico, sobre todo en las épocas creadoras y críticas, como el siglo XVII, como la nuestra, es imposible separar el pensamiento filosófico del pensamiento científico: se influyen y se condicionan mutuamente; aislarlos es condenarse a no comprender en absoluto la realidad histórica.

En efecto, la revolución científica del siglo XVII, inaugurada con Galileo, y cuyo sentido profundo consistía en la matemati-

[1] En realidad la influencia de Descartes sobre sus contemporáneos no fue muy grande. «L'Academie parisienne», es decir, el círculo de sabios agrupados en torno a Mersenne, se componía sobre todo de adversarios a Descartes. Cf. R. Lenoble, *Mersenne ou la naissance du mécanisme*, París, 1946.

[2] Me parece bastante cierto que —gracias a Bernier y a su *Abrégé de la philosophie de Gassendi*, Lyon, 1678, 1684— el hombre culto de fines del siglo XVII era mucho más a menudo gassendista que cartesiano.

zación de lo real, había sobrepasado, con Descartes —hecho frecuente en la historia— su legítimo objetivo. Se había comprometido en lo que anteriormente he denominado «la geometrización a ultranza» y había tratado de reducir la física a la geometría pura negando cualquier especificidad propia a la realidad material. Por ello, como consecuencia de su identificación de la materia y del espacio, desembocó en una física imposible. No podía explicar —Descartes lo haría, ¿pero a qué precio?— ni la elasticidad de los cuerpos, ni sus densidades específicas, ni la estructura dinámica del choque. Y algo aún más grave: tal como lo va a mostrar Newton, esta física, que no admitía en el mundo más que extensión y movimiento, ni siquiera podía, sin abolir sus propios principios, proporcionárselos a los cuerpos de su Universo demasiado fuertemente estructurado.

En definitiva, precisamente contra esta identificación de la materia y del espacio en la «extensión» cartesiana, se subleva Gassendi desde el momento que toma conciencia de ella; sin duda no entabla con la física de Descartes la polémica violenta que había emprendido contra su metafísica y su epistemología: en 1645, es decir, poco después de la publicación de los *Principes de philosophie* de Descartes, escribe a André Rivet que va a decepcionar a las personas que le suponen esa intención, o que a ello le incitan, porque no está entre sus costumbres atacar a los que no le atacan[3]. Pero igual en esta carta que en muchas otras, señala muy claramente su oposición a la tesis esencial del cartesianismo, a saber, la identificación de la materia física con la extensión geométrica. Así, por ejemplo, en esta misma carta a Rivet que acabo de citar[4]:

No es necesario mencionar los puntos particulares; porque desde los primeros principios: que el mundo material es infinito o, como matiza, indefinido; que está en sí mismo absolutamente lleno y no se distingue de la extensión; que puede desmenuzarse en pequeños fragmentos que pueden cambiar localmente de posición de diferentes modos sin intervención del vacío; y otras cosas de la misma clase; ¿quién no advierte que todo esto implica dificultades y contradicciones? No se trata de que el autor no llegue a, o por lo menos no trate de llegar a crear ilusiones y a huir mediante sutilezas; pero si los ignorantes y los espíritus vacíos se dejan engañar por las palabras, con seguridad las personas pausadas y apegadas

[3] Cf. R. Descartes, *Oeuvres*, Ed. Adam y Tannery, vol. IV, p. 153.

[4] *Ibid.* El pasaje que sigue ha sido traducido por B. Rochot en su libro *Les travaux de Gassendi sur Epicure et sur l'atomisme*, París, 1944, p. 124, n. 172. Lo cito de acuerdo con su traducción.

a la verdad no dudan, y dejándose de palabras vacías, permanecen atentas en sus investigaciones a las cosas mismas.

Al «plenismo» cartesiano, Gassendi opone resueltamente la existencia de los «átomos» y del «vacío». Pero no se limita a eso. Desde 1646 ataca los mismos fundamentos de la ontología tradicional que Descartes, quizá sin darse cuenta de ello, había heredado de Aristóteles y que le llevan, como a este último, a la negación del vacío identificado con la nada. La ontología tradicional «divide» el ser en sustancia y atributos. Pero, objeta Gassendi ya en sus *Animadversiones in decimun librum Diogenis Laertii*[5] —un texto que seguramente inspiró a Pascal su famoso apóstrofe al P. Noel—, ¿es legítima esta división? De hecho «ni el lugar ni el tiempo son sustancia ni accidente y no obstante son algo y no nada; justamente son el lugar y el tiempo de todas las sustancias y de todos los accidentes»[6].

El razonamiento cartesiano que desemboca en la negación del vacío únicamente tiene validez en función de la ontología aristotélica: al no ser el espacio vacío ni sustancia ni accidente, sólo puede ser nada, y la nada, como evidentemente no puede poseer atributos, no puede ser objeto de mediciones; el volumen, la distancia, no pueden medir la nada; las dimensiones deber ser dimensiones de algo, es decir, de una sustancia y no de la nada.

Pero, nos dice Gassendi en su *Syntagma*, en el que elabora y desarrolla los temas brevemente señalados en las *Animadversiones*, es evidente que caemos en estas dificultades por culpa de un prejuicio que nos ha inculcado la escuela peripatética, a saber, que todo es o sustancia o accidente, y que «todo lo que no es ni sustancia ni accidente es no-ente *(non-ens)*, no-algo *(non-res)* o nada en absoluto *(nihil)*. Ahora bien, ya que... fuera de la sustancia y del accidente, el lugar o el espacio, y el tiempo o la duración, son entidades y cosas *(res)* auténticas, es evidente... que uno y otro son nada *(nihil)* sólo en el sentido peripatético [del término] pero no en su auténtico sentido. Estas dos entidades [tiempo y espacio] forman especies de cosas distintas de todas las demás, y el lugar y el tiempo tanto pueden ser sustancia o accidente como la sustancia y el accidente pueden ser lugar o tiempo»[7].

[5] Las *Animadversiones* no se imprimieron hasta 1649, pero fueron escritas antes de 1646 y cuando, en 1646, salió el manuscrito para Lyon, se quedó un duplicado en París.

[6] Cf. *Animadversiones*, p. 614 (ed. de 1649).

[7] Cf. *Syntagma philosophicum (Opera omnia*, vol. 1, p. 184 *a*, Lyon,

De ahí se sigue que la geometrización del espacio no implica en absoluto la de la materia; al contrario, nos obliga a distinguir cuidadosamente a esta última del espacio *en el cual* se encuentra, y a dotarla de características propias, a saber, la movilidad —que no se puede atribuir al espacio que en sí mismo es necesariamente inmóvil—; la impenetrabilidad, que no puede —a pesar de Descartes— deducirse a partir de la extensión pura y simple: el espacio, en cuanto tal, no opone ninguna resistencia a su penetración por los cuerpos; y finalmente, la discontinuidad, que impone límites a la división de los cuerpos, mientras que no los hay en la del espacio, necesariamente continuo.

La ontología de Gassendi no es nueva, ni original: es la del antiguo atomismo, como ya he dicho. Sin embargo, es la que le ha permitido no sólo adoptar a veces ideas que tendrán mucho éxito más tarde, como, por ejemplo, la concepción corpuscular de la luz de la que, a decir verdad, no saca partido (será Newton quien lo haga), sino incluso superar a Galileo en la formulación del principio de inercia y a Pascal en la interpretación de los fenómenos barométricos.

Se me podría objetar que soy demasiado severo con la obra propiamente científica de Pierre Gassendi; invocar su trabajo de astrónomo; los experimentos que realizó o volvió a realizar, y las consecuencias que supo sacar; las ideas —como, por ejemplo, la distinción entre átomos, corpúsculos, moléculas— que emitió, ideas que seguramente no supo explotar, pero que otros explotaron en su lugar.

No tengo nada que oponer: mi juicio es severo. Pero es el de la historia. Dicho esto, es incontestable que Gassendi no se limitó a enseñar astronomía en el Collège Royal, manteniendo equilibrada la balanza entre los dos o tres grandes sistemas, el de Tolomeo, el de Copérnico y el de Tycho Brahe, entre los cuales dudaba aún la conciencia científica, y a escribir biografías —útiles e interesantes— de los grandes astrónomos, sino que fue un auténtico astrónomo, un *profesional,* podría decirse, y hay que hacer justicia a la paciencia con la cual estudió el cielo durante toda su vida, acumulando observaciones sobre fenómenos celestes; así, por ejemplo —y por supuesto esto es sólo una mínima parte de su obra—, observó los eclipses del Sol en Aix en 1621, en París en 1630, de nuevo en Aix en 1639, en París en 1645, en Digne en 1652, en París en 1654, y los de la

1658). Gassendi dice textualmente —y con muy mala intención— que el razonamiento de Descartes sólo vale para un aristotélico *(ibid.,* 219 *b).*

Luna en Digne en 1623, en Aix en 1628, de nuevo en Digne en 1633, 1634, 1636, 1638, en París en 1642, 1645, 1647 y, por última vez, en Digne en 1649; observó los planetas, particularmente Saturno, astro en el que estaba especialmente interesado a causa de lo que él creía que eran sus satélites, la ocultación de Marte por la Luna, etc.; incluso consiguió —y casi fue el único, con Harriot, en hacerlo de una manera científica— observar el 7 de noviembre de 1631 el paso de Mercurio por el disco solar[8], anunciado en 1629 por Kepler[9].

Igualmente, hizo experimentos, e incluso experimentos que suponían mediciones; así —aunque por otra parte después del R. P. Mersenne— midió la velocidad de propagación del sonido, que fijó en 1.473 pies por segundo. Aunque esta cifra es demasiado grande —la cifra exacta es de 1.038 pies— el error no es excesivo: no olvidemos la dificultad de las observaciones y las medidas precisas en una época en la cual no había buenos re-

[8] Cf. *Mercurius in Sole visus et Venus invisa Parisiis anno 1631*, París, 1632, *Opera omnia*, t. IV, pp. 499 ss. Sobre la obra astronómica de Gassendi, cf. J. B. Delambre, *Histoire de l'astronomie moderne*, vol. II, páginas 335 ss., París, 1821, y Pierre Humbert, *L'oeuvre astronomique de Gassendi*, París, 1936, de la que extraigo la siguiente cita (p. 4): «Nadie observará con tanta pasión y perseverancia. Nada de lo que pase en el Cielo, nada de lo que en él pueda descubrirse se le escapa. Manchas solares, montañas de la Luna, satélites de Júpiter, eclipses, ocultaciones, pasos: siempre se encuentra con el ojo puesto en la lente para observarlos; posiciones de los planetas, longitudes y altitudes, hora exacta: no deja ni un momento su cuadrante para determinarlos. En realidad no descubre nada: observador asiduo de Júpiter, no se da cuenta en absoluto de las bandas; sus escrupulosos dibujos de Saturno no le revelan la auténtica naturaleza del anillo; sobre la rotación solar o la libración lunar, lo único que hace es confirmar descubrimientos [anteriores]. Pero en todas sus observaciones hace gala de un espíritu metódico, de un deseo de precisión, de una búsqueda de la elegancia que le colocan muy por encima de sus contemporáneos.»

[9] El mérito de Gassendi es tanto más grande cuanto que la obra de Kepler parece haber sido completamente descuidada en Francia; hasta 1645 no habla Ismael Bouillaud de ella en su *Astronomia philolaica* (París, 1645) en la que, al mismo tiempo que rechaza la dinámica celeste de Kepler, adopta, modificándola de una manera bastante infeliz, la doctrina kepleriana de la trayectoria elíptica de los planetas. En cuanto a Gassendi, da de ella una exposición en su *Syntagma philosophicum* (Lyon, 1658; cf. *Opera omnia*, vol. I, pp. 639 ss.); más exactamente, expone el mecanismo —atracción y repulsión magnéticas— adoptado por Kepler para explicar la elipticidad de las trayectorias planetarias pasando por alto la estructura matemática de la astrofísica de éste, cuyo carácter innovador no parece haber captado. Por ello, acepta predicciones keplerianas sin preocuparse de las leyes en las que se fundaban y sin darse cuenta quizás de que, con su observación del paso de Mercurio, proporciona una confirmación decisiva a la concepción de Kepler.

lojes y no se sabía medir el tiempo[10]. Los experimentos de Gassendi le condujeron a afirmar que el sonido, grave o agudo, se propaga a la misma velocidad; por otra parte, confundió completamente su naturaleza física, habiéndole asignado —como a todas las cualidades—, un soporte atómico propio y no vibraciones en el aire; además, enseñó que el sonido no resultaba arrastrado por el aire y que su propagación —como la de la luz— no estaba afectada por el viento[11].

Para dar una confirmación experimental a las leyes del movimiento establecidas por Galileo —y para desmentir al mismo tiempo las que Michel Varron pretendía haber demostrado— imaginó, e incluso realizó, un experimento muy elegante. Sabemos que, según Galileo, la velocidad de caída es proporcional al tiempo transcurrido; según Varron, al espacio recorrido. Ahora bien, entre las consecuencias que Galileo había extraído de su dinámica, había una particularmente sorprendente —y que era imposible extraer de la de Varron—, a saber, que los cuerpos que caen a lo largo del diámetro y de las cuerdas de un círculo vertical empleaban el mismo tiempo para llegar al punto terminal de la caída. Sin lugar a dudas, era imposible medir directamente el tiempo de los recorridos, pero, como lo comprendió Gassendi, se podía prescindir de las mediciones: el teorema de Galileo implicaba, en efecto, que los cuerpos partidos *al mismo tiempo* de los puntos A, B y C llegaban *al mismo tiempo* al punto D (siendo AD un diámetro, BD y CD cuerdas inclinadas sobre la vertical). Así, pues, Gassendi fabricó un círculo de madera de unas dos toesas (12 pies) de diámetro y lo equipó con tubos de vidrio, haciendo caer por ellos pequeñas bolas. Los resultados confirmaron plenamente la doctrina de Galileo y falsaron la de Varron, mostrando que se apartaba mucho de la experiencia[12].

[10] Cf. mi artículo, «An experiment in measurement», *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1953 (y *supra*, pp. 274-305). Gassendi, por otra parte, no parece haber atribuido un valor excesivo a la exactitud de las mediciones: y así, en el *Syntagma* (vol. I, p. 351 *a*), informa de los resultados obtenidos para el valor de la aceleración de la caída por Galileo —180 pies en 5 segundos— y por el P. Mersenne —300 pies— sin tomar partido por ninguno de los dos.

[11] Una vez más hay que tener en cuenta aquí las condiciones de experimentación, y observar, en descargo de Gassendi, que Borelli y Viviani, auténticos sabios y experimentadores fuera de serie que para la velocidad de propagación del sonido habían obtenido la cifra casi exacta de 1077 pies por segundo, llegaron al mismo resultado.

[12] Cf. *Syntagma*, t. I, p. 350 *b*.

En 1640, Gassendi emprendió una serie de experimentos sobre la conservación del movimiento, que desembocaron en el de la bola soltada desde lo alto del mástil de un navío en movimiento, experimento sobre el que se había discutido desde hacía siglos y que se alegaba generalmente como un argumento contra el movimiento de la Tierra [13]. En efecto, si la Tierra se

[13] En mis *Études galiléenes* (París, 1939, p. 215) dije que Gassendi fue el primero en hacer este experimento. En realidad esto no es cierto, pues el experimento en cuestión se había realizado varias veces antes que él lo hiciera. Es posible que ya hubiera sido realizado por Thomas Digges que, en su *Perfit description of the celestiall orbes,* que publicó en 1576 como apéndice a la *Prognostication everlastinge of righte good effecte* de su padre, Leonard Digges, dice que los cuerpos que caen, o que son lanzados al aire en la Tierra en movimiento, nos parece que se mueven en línea recta, del mismo modo que un plomo que un marinero deja caer de lo alto del mástil de un navío en movimiento y que, en su caída, sigue al mástil y cae a su pie, nos parece moverse en línea recta, aunque en realidad describa una curva. La *Prognostication everlastinge,* así como la *Perfit description* fueron reeditadas por F. Johnson y S. Larkey, «Thomas Digges, the copernican system and the idea of the infinity of universe in 1576», *Huntington Library Bulletin,* 1935; cf. también F. R. Johnson, *Astronomical thought in Renaissance England,* Baltimore, 1937, p. 164. De todos modos, hay que notar que Thomas Digges no nos dice que él haya hecho el experimento, sino que lo refiere como algo que se da por supuesto. En segundo lugar, Galileo, como acabo de decir, afirma a Ingoli que lo ha realizado. Pero no dice dónde ni cuándo, y como se contradice en el *Dialogo,* la duda es permisible. Por el contrario, los experimentos realizados por el ingeniero francés Gallé, en una fecha incierta, pero antes de 1628, deben admitirse como reales, así como los de Morin, en 1634. Los experimentos de Gallé son descritos y discutidos por Froidemont (Fromondus) en su *Ant-Aristarchus, sive Orbis Terrae immobilis liber unicus,* Amberes, 1631, y *Vesta sive Ant-Aristarchi Vindex,* Amberes, 1634. Según C. de Waard, de quien tomo prestados estos datos (cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne,* París, 1945, vol. II, p. 74), Gallé hizo sus experimentos en el Adriático y «dejó caer desde lo alto del palo mayor de una galera veneciana una masa de plomo: la masa no cayó al pie del mástil, sino que se desvió hacia popa, aportando así, en apariencia, a los partidarios de Tolomeo una verificación de su doctrina». En cuanto a Morin (cf. *Correspondance du P. Marin Mersenne,* París, 1946, vol. III, pp. 359 ss.) relata, en su *Responsio pro Telluris quiete...,* París, 1634, que ha hecho este experimento en el Sena y ha visto confirmarse las afirmaciones de Galileo «la primera vez con estupor, la segunda con admiración, la tercera con burla». Porque, nos dice Morin, el experimento no prueba nada en favor de los copernicanos: en realidad, el hombre que, en lo alto del mástil, sostiene la piedra en sus manos, le imprime su propio movimiento, y esto tanto más cuanto más rápidamente se mueve el navío. Por lo tanto, la piedra resulta proyectada hacia adelante y esa es la razón de que no se quede atrás. Pero si el navío pasara bajo un puente, y se arrojara desde este puente una piedra al mismo tiempo que la primera, se comportaría de un modo muy diferente, a saber, caería sobre la popa. Así, mediante un razonamiento copiado literalmente de Bruno (cf. *La cena de le ceneri,* III, 5, *Opere italiane,* Leipzig, 1830,

moviera, se repetía desde Aristóteles y Tolomeo, un cuerpo lanzado —verticalmente— al aire no podría nunca volver a caer en el lugar desde donde hubiera sido lanzado: una bola lanzada desde lo alto de una torre no podría caer nunca al pie de la torre, sino que se «quedaría atrás», comportándose como la bola soltada desde lo alto del mástil de un navío que cae a su pie cuando el navío permanece inmóvil y «queda atrás», cayendo sobre la popa, cuando el navío se mueve; e incluso en el agua si el navío se mueve demasiado rápidamente. A esta argumentación, renovada por Tycho Brahe, los copernicanos, en la persona de Kepler, responderían estableciendo una diferencia de naturaleza entre el caso del navío y el de la Tierra: la Tierra, decían, arrastra con ella a los cuerpos graves (terrestres), mientras que el navío no lo hace en absoluto. Por ello, una bola lanzada desde lo alto de una torre caerá a sus pies porque es atraída por la Tierra por una atracción *casi* magnética, mientras que la misma bola, lanzada desde lo alto del mástil de un navío en movimiento, quedará apartada, porque no es atraída por éste. Unicamente Bruno y, por supuesto, Galileo tuvieron la audacia de negar el hecho mismo del «atraso» y de afirmar que la bola que cae desde lo alto del mástil de un navío —inmóvil o en movimiento— siempre caería al pie de ese mástil. Ahora bien, Galileo, que en su *Carta a Ingoli* (de 1624) se vanagloriaba de una doble superioridad sobre éste y en general sobre los físicos aristotélicos por haber *a)* efectuado el experimento que ellos nunca habían hecho y *b)* por haberlo hecho sólo *después* de haber previsto su resultado; en su *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, justamente donde discute el argumento en cuestión, nos dice abiertamente que nunca intentó hacer el experimento. Más aún, añade que no hay ninguna necesidad de hacerlo, porque es tan buen físico que, sin ningún experimento, puede determinar cómo se comportaría la bola llegado el caso.

Evidentemente Galileo tiene razón: para cualquiera que haya comprendido el concepto de *movimiento* de la física moderna, este experimento es perfectamente inútil. Pero, ¿y para los demás, precisamente para aquellos que no han comprendido aún y hay que hacerles comprender? Para ellos el experimento puede desempeñar un papel decisivo. Es difícil decir si es para sí mismo o para los demás solamente por lo que Gassendi realiza

vol. I, p. 171, que he citado en mis *Études galiléenes*, III, pp. 14 ss.) —pero que evidentemente no comprende— Morin consigue confirmarse en su fe geocéntrica.

en 1640 los experimentos a los que acabo de aludir. Probablemente para los «demás», para aquellos a los que hay que dar una prueba experimental del principio de inercia. Pero quizás también para sí mismo, para asegurarse de que este principio no sólo es válido *in abstracto*, en el vacío de los espacios imaginarios, sino también *in concreto*, en nuestra Tierra, *in hic vero aere* como había dicho Galileo.

Sea como sea, tuvieron pleno éxito; por ello organizó en Marsella, con la ayuda del conde de Alais, una demostración pública que tuvo una gran resonancia en su época. Esta es la descripción [14]:

Siendo el señor Gassendi tan curioso que trata siempre de justificar mediante experimentos la verdad de las especulaciones que la filosofía le propone, y encontrándose en Marsella en el año 1641, hizo ver que, en una galera que salió a este propósito al mar por orden de este príncipe, más ilustre por el amor y el conocimiento que tiene de las buenas cosas que por la grandeza de su nacimiento, una piedra lanzada desde lo más alto del mástil, al tiempo que la galera boga a toda velocidad, no cae en un sitio diferente del que caería si la misma galera estuviera parada e inmóvil; igualmente cuando está en marcha o no, la piedra cae siempre a lo largo del mástil a su pie y por el mismo lado. Este experimento, realizado en presencia de su Señoría el Conde de Alais y de un gran número de personas que asistieron, parece tener algo de paradójico para muchos de los que no lo habían visto; lo que fue causa de que el señor Gassendi compusiera un tratado *De motu impresso a motore translato* que vimos el mismo año en forma de carta escrita al señor Du Puy.

Ahora bien, en esta «carta», es decir, en el *De motu impresso a motore translato* [15], Gassendi no se limita a exponer los razonamientos de Galileo añadiéndoles la descripción de la experiencia de Marsella y aplicando al análisis de ésta los principios (galileanos) de la relatividad del movimiento y de la conservación de la velocidad; consigue superar a Galileo y, liberándose al tiempo del fantasma de la circularidad y de la obsesión de la pesadez, dar una formulación correcta de la ley de inercia. En efecto, la restricción (galileana) de esta ley a los movimientos horizontales es inútil; en principio son válidas todas

[14] Cf. *Recueil de lettres des sieurs Morin, de La Roche, De Nevre et Gassend et suite de l'apologie du sieur Gassend touchant la question* De motu impresso a motore translato, París, 1650, prefacio; cf. mis *Études galiléennes*, pp. 215 ss. La fecha de 1641 debe adelantarse en un año.

[15] París, 1642; u *Opera omnia* (Lyon, 1658), t. III, pp. 478 ss.

las direcciones y en los espacios imaginarios, espacios vacíos fuera del mundo en los que seguramente no hay nada pero en los que seguramente podría haber algo, «el movimiento, en cualquier dirección que se produzca, será semejante al horizontal y ni se acelerará ni se retrasará y por lo tanto nunca cesará»[16]. Gassendi deduce, con muy buen sentido, que sucede lo mismo en la Tierra, que el movimiento *en cuanto tal* se conserva, con su dirección y velocidad y que si, en realidad, las cosas suceden de otro modo, es porque los cuerpos encuentran resistencias (por ejemplo, la del aire) y se desvían por la atracción de la Tierra.

Los espacios imaginarios fuera del mundo no son con toda seguridad objeto de experiencia; de igual modo que los cuerpos que Dios podría colocar allí. Por otra parte, Gassendi se da cuenta de ello, lo que le honra. Pero sería cruel insistir y subrayar la flagrante incompatibilidad del razonamiento de Gassendi con la epistemología sensualista y empirista que profesa y que, por otra parte, ha heredado de Epicuro junto con los átomos y el vacío. Por ello no fue su epistemología, que no hizo más que viciar y esterilizar su pensamiento, sino la utilización inteligente del atomismo, lo que permitió a Gassendi superar a Robert Boyle en la interpretación de los experimentos barométricos de Torricelli y de Pascal.

Gassendi enumera estos experimentos, incluido el del Puy de Dome, del que fue informado por Auzout, en un apéndice de sus *Animadversiones;* después de haberlos hecho de nuevo —con Bernier— en una colina cerca de Toulon (en 1650), los vuelve a exponer y discutir en el *Syntagma*[17].

El hecho experimental revelado por el experimento barométrico es en sí mismo bastante simple: se reduce a la constatación de la variación de la columna de mercurio (en un tubo de Torricelli) en función de la altitud a la cual se encuentra colocado. Pero su interpretación correcta es todo menos simple: en efecto, implica la distinción, en el efecto producido, de la acción de dos factores —y por lo tanto la elaboración de dos nociones distintas— a saber, la del *peso* y la de la *presión elástica* de la columna de aire que equilibra el mercurio. Ahora bien, aunque desde el principio estas dos nociones están presentes en el ánimo de los experimentadores —Torricelli habla de la

[16] Cf. mis *Études galiléenes*, pp. 294-309; y *Opera omnia*, t. III (1658), p. 495 *b*.

[17] Cf. *Animadversiones in decimun librum Diogenis Laertii*, Lyon, 1649; y *Syntagma philosophicum*, en *Opera omnia*, vol. I, pp. 180 ss.

compresión del aire comparándola a la de una bala de lana— la acción de los dos factores se encuentra lejos de estar claramente analizada. Por otra parte, hacerlo no era muy fácil, como nos lo muestra el ejemplo de Roberval, confundido por el hecho de que una cantidad muy pequeña de aire —una gota—, que no pesa casi nada, introducida en el vacío del tubo de Torricelli, hace descender sensiblemente su nivel. En cuanto a Pascal, seducido e inducido a error por la asimilación del aire a un líquido (asimilación corriente en su época) explica la aparición del vacío en el tubo de mercurio mediante concepciones extraídas de la hidrostática, es decir, mediante un equilibrio de pesos. Y si en la interpretación de los experimentos barométricos (expansión de una vejiga llevada a la cumbre de una montaña, etc.) que encontramos en sus *Tratados* sobre el *equilibrio de los líquidos* y el *peso de la masa de aire*, la *compresión* del aire al nivel del suelo y su *rarefacción* en la cumbre de una montaña se hallan claramente indicados, no por ello es menos cierto que los *Tratados* —tal como lo indica su mismo título— se conciben claramente desde un punto de vista hidrostático y que el análisis conceptual de los fenómenos estudiados no supera el nivel alcanzado ya por Torricelli.

Ahora bien, en este punto es donde la ontología atomista permite a Gassendi dar un paso adelante, haciéndole fácilmente comprensibles los fenómenos de dilatación (expansión) y de condensación (compresión) del aire y el hecho de que una misma cantidad de aire (un mismo número de corpúsculos y, por lo tanto, un mismo peso) podía ejercer, según su estado de compresión o dilatación, *presiones* extremadamente variables. Por eso en esta compresión y presión resultante ve él el factor esencial del fenómeno revelado por el experimento barométrico y son analogías aerodinámicas (presión del aire comprimido en una bombarda, o en la bomba de Ctesibio) las que aduce para explicarlo. El peso de la columna de aire, nos dice, comprime las capas inferiores, y es esa *presión* la que hace subir el mercurio en el tubo. La acción del *peso* es colocada, pues, en su lugar; de causa directa se convierte en indirecta; la causa directa es la *presión* [18].

Sin lugar a dudas, todo esto es algo, e incluso mucho. Y, sin embargo, comparado con el esfuerzo realizado por Gassendi, con el papel que desempeñó es muy poco. Pero ya he dicho desde el comienzo que no fue en cuanto sabio como actuó y conquistó un lugar en la historia del pensamiento científico,

[18] Cf. *Syntagma philosophicum*, pp. 207-212.

sino en cuanto filósofo, a saber, resucitando el atomismo griego y completando así la ontología que necesitaba la ciencia del siglo XVII [19]. Sin duda no fue el primero en hacerlo —Bérigard, Basson, y otros, en fin, lo hicieron antes que él— y podría decirse que el atomismo se adaptaba tan bien a la física y a la mecánica del siglo XVII (incluso los que, como Descartes, rechazan los átomos y el vacío y tratan de establecer una física del continuo, se ven obligados, en realidad, a utilizar concepciones corpusculares) que la influencia directa de Lucrecio y de Epicuro habría bastado para hacerlo aceptar. No por ello es menos cierto que nadie presentó la concepción atómica con tanta fuerza y que nadie defendió la existencia del vacío en todas sus formas —tanto en el interior como en el exterior del mundo— con tanta perseverancia e insistencia como Gassendi; nadie, por lo tanto, contribuyó tanto como él a la ruina de la ontología clásica fundada sobre las nociones de sustancia y atributo, potencialidad y actualidad. En efecto, proclamando la existencia del vacío, es decir, la realidad de algo que no es «ni substancia, ni atributo», Gassendi abre una brecha en el sistema categorial tradicional; una brecha que terminará por engullir al sistema.

De este modo, contribuye más que nadie a la reducción del ser físico al mecanismo puro, con todo lo que esto implica, a saber, la infinitización del mundo consecuente a la autonomización y a la infinitización del espacio y del tiempo, y la subjetivización de las cualidades sensibles. Lo que es bastante paradójico, ya que, a decir verdad, Gassendi mismo no creía ni en una ni en otra: la infinitud del *espacio* no implicaba, para él, la infinitud del mundo real, ya que el número total de átomos que entraban en su composición no podía ser sino finito; y la reducción de las propiedades de los átomos a «peso, número, medida» no le impidió tratar de desarrollar una física cualitativa con base atómica, postulando átomos específicamente adaptados a la producción de cualidades sensibles, átomos luminosos y átomos sonoros, átomos del calor y átomos del frío, etc. Lo que a veces —como en el caso de los átomos de luz— le llevó a anticipar, aunque de lejos y por razones equivocadas, la concepción newtoniana de la luz (teoría corpuscular), y a veces —como en el caso del sonido— a negar la existencia de ondas sonoras.

[19] Cf. B. Rochot, *Les travaux de Gassendi sur Epicure et sur l'atomisme*, París, 1944.

Creo que puedo resumir en algunas palabras lo que he dicho: Gassendi trató de fundar en el antiguo atomismo una física que era todavía una física cualitativa. Esto le permitió, mediante la renovación —o la resurrección— del atomismo antiguo, dar una base filosófica, una base ontológica, a la ciencia moderna, que unió lo que él no supo unir, a saber, el atomismo de Demócrito con el matematicismo de Platón, representado por la revolución galileana y cartesiana; fue la unión de estas dos corrientes la que produjo, como sabemos, la síntesis newtoniana de la física matemática.

BONAVENTURA CAVALIERI Y LA GEOMETRÍA DE LOS CONTINUOS *

La obra de Bonaventura Cavalieri goza entre los historiadores del pensamiento matemático de una bien establecida reputación de oscuridad a toda prueba [1].

Lejos de mí querer rebelarme contra esta apreciación tradicional: la obra de Cavalieri es efectiva e incontestablemente oscura, difícil de leer y aún más difícil de comprender [2]. No obstante, me pregunto si la penosa impresión de estar sumido en la bruma y las tinieblas que no deja de experimentar todo el que aborda el estudio de la *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* [3] o de las *Exercitationes geometricae sex* [4] proviene efectivamente de la oscuridad —por otro lado normal e inevitable— de su *pensamiento* [5], o más bien del hecho de que Cavalieri se nos muestre incapaz de expresar-

* Artículo extraído del *Hommage à Lucien Febvre* (París, Colin, 1954), pp. 319-340.

1 Maximilien Marie, *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, t. IV, París, 1884, p. 90: «El análisis de sus obras mostrará, pienso yo, que Cavalieri merece ser conocido; pero si lo es tan poco, creo poder decir que es por su culpa. En efecto, si se dieran premios a la oscuridad, en mi opinión, él se habría llevado el primero sin duda. En absoluto se puede leerle; constantemente se ve uno reducido a adivinarle.» Cf. M. Cantor, *Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik*, t. 2, Leipzig, 1900, p. 833; cf. igualmente Léon Brunschvicg, *Les étapes de la philosophie mathématique*, París, 1923, p. 162, quien sin embargo emprende la defensa de Cavalieri; y Gino Loria, *Storia delle matematiche*, Milán, 1950, p. 425: «La *Geometria degli indivisibili* passa, e non a torto, per una delle opere più profonde ed oscure che annoveri la letteratura matematica.»

2 Hay que reconocer que todas las obras matemáticas de esta primera mitad del siglo XVII son difíciles de leer y de comprender a causa del arcaizante lenguaje y de la ausencia del simbolismo, que debemos a Descartes (y a sus sucesores) y al cual estamos acostumbrados.

3 Bolonia, 1635, 2.ª ed., *ibid.*, 1657. Es la que yo cito.

4 Bolonia, 1647.

5 Un pensamiento original siempre es oscuro en sus comienzos; el pensamiento no progresa de la claridad a la claridad: nace en la oscuridad e incluso en la confusión y desde ahí avanza hacia la claridad.

lo y exponerlo de una manera suficientemente clara: Cavalieri escribe muy mal[6] y sus interminables frases a veces, e incluso a menudo, son auténticos rompecabezas[7]. Por esto mismo obliga, o por lo menos incita, al historiador a traducirlo en un lenguaje que no es el suyo (el del cálculo infinitesimal), lenguaje que se ha desarrollado a partir de concepciones muy diferentes de las suyas y que, en consecuencia, no siempre refleja exactamente su pensamiento, sino que lo oscurece a menudo al tiempo que lo simplifica[8].

Como compensación, me parece que si se hace el esfuerzo necesario para familiarizarse con el *estilo* de Cavalieri —y por *estilo* entiendo tanto su manera de pensar como su manera de escribir—, si se estudia su técnica de prueba que proporciona un sentido concreto a nociones a menudo mal definidas *in abstracto*, y sobre todo si se le sitúa en su época, a saber, entre Kepler por un lado y Torricelli por otro —a los que se refiere expresamente— veremos perfilarse un pensamiento suficientemente firme y consciente de sí mismo, y, al mismo tiempo, suficientemente inteligible como para asegurar a Cavalieri un lugar muy honroso entre los grandes representantes del pensamiento matemático. Con la condición, en todo caso, de no interpretarlo en sentido contrario[9].

[6] A decir verdad, y contrariamente a la creencia general, todos los autores del siglo XVII —con dos o tres excepciones, como las de Galileo y Torricelli— escriben extremadamente mal: Guldin o G. de Saint-Vincent, e incluso Borelli o Riccioli están lejos de ser modelos de estilistas. En cuanto a Cavalieri, proporciono algunos ejemplos más adelante.

[7] Abraham Gotthelf Kästner, en su historia de la matemática *(Geschichte der Mathematik,* t. III, Gotinga, 1799), p. 207, al citar un «postulado» de Cavalieri, escribe: «Ich bekenne dass ich dieses Postulat nicht verstehe, das zweyte, welches von ähnlichen Figuren spricht, auch nicht»; M. Marie, *Histoire des sciences mathématiques et physiques,* t. IV, p. 80, citando el enunciado de Cavalieri del teorema sobre las relaciones del conjunto de los cuadrados de un paralelogramo con el conjunto de los cuadrados de uno de los dos triángulos que lo componen (cf. *infra,* p. 338), remacha: «Creo que nadie se asombrará si digo que he tenido que leer varias veces este *jeroglífico* antes de adivinar su sentido.»

[8] M. Marie, *Histoire des sciences mathématiques,* t. IV, París, 1884, páginas 75 ss.: «... para abreviar, hemos supuesto, en la exposición de su método, los procedimientos en el estado, más o menos, que luego alcanzaron, gracias a los esfuerzos sucesivos de Roberval, de Fermat y de Pascal». El problema del lenguaje a adoptar para la exposición de las obras del pasado es extremadamente grave y no tiene una solución perfecta. En efecto, si conservamos el lenguaje (la terminología) del autor estudiado, corremos el riesgo de hacerlo incomprensible, y si lo sustituimos por el nuestro, de traicionarlo.

[9] Para Cavalieri, el sentido contrario comienza con el título mismo de su obra principal, *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam*

Evidentemente, me es imposible describir aquí el estado del pensamiento matemático de comienzos del siglo XVII, por otra parte aún bastante mal conocido. *Grosso modo* se puede caracterizar a este período por la conclusión de la recepción de la geometría griega y por los primeros intentos de superarla.

Vemos así aparecer, durante los años veinte, un poco por todas partes, intentos de aplicación de métodos infinitesimales para la solución de problemas concretos de geometría y de dinámica, intentos que seguramente se inspiran en la *Stereometria doliorum* de Johannes Kepler [10]. Ahora bien, sabemos que en su obra matemática —ésta es a la vez la razón y el precio de su éxito— Kepler (seguido en esto por la mayoría de sus contemporáneos) se muestra completamente insensible a los escrúpulos lógicos que habían detenido a Arquímedes y le habían impuesto el empleo de embarazosas y difíciles demostraciones por reducción al absurdo: apoyándose en el principio

ratione promota, que habitualmente se cita abreviando su título latino en *Geometria indivisibilibus,* o traduciendo esta abreviatura por *Geometría de los indivisibles* (así, por ejemplo, ya en J.-F. Montucla, *Histoire des mathématiques,* t. II, París, año VII, p. 39, Michel Chasles, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie,* Bruselas, 1837, p. 57, M. Marie, *Histoire des mathématiques,* t. IV, p. 84, e incluso Pierre Boutroux, *Les principes de l'analyse mathématique,* t. II, París, 1919, p. 268, y Gino Loria, *Storia delle matematiche,* p. 425), cayendo en una incomprensión o un contrasentido flagrante. En efecto, el título de la obra de Cavalieri sólo se puede abreviar razonablemente como *Geometria... continuorum, Geometría de los continuos...,* al estar el término *indivisibilibus* en ablativo y no en genitivo... Es curioso comprobar que Kästner que, como todo el mundo, comete este contrasentido que acabo de indicar, llega a falsear el título del libro de Cavalieri sustituyendo *indivisibilibus* por *indivisibilium.* Cf. A. G. Kästner, *Geschichte der Mathematik, Gotinga,* 1799, p. 205: X. Geometria Indivisibilium. *Geometria indivisibilium continuorum nova quadam ratione promota,* Authore F. Bonaventura Cavalerio, Mediolan. Ord. Jesuatorum S. Hieronymi, D. M. Mascarellae Pr. Ac. in almo Bonon. Gymn. Prim. Mathematicorum Professore. Ad illustriss. et reverendiss. D. D. Joannem Ciampolum. Bonon. 1655. La fecha indicada por Kästner es falsa: la *Geometria continuorum* apareció en 1635 y se reeditó en 1657.

[10] Johannes Kepler, *Nova stereometria doliorum vinariorum imprimis Austriaci... Accesit stereometriae Archimedeae supplementum',* Lincii, MDCXV; cf. *Opera omnia,* ed. Frisch, vol. IV, Francfort y Erlangen, 1863. Sin duda, hay que añadir a la influencia de Kepler la de la misma obra de Arquímedes, comprendida o malinterpretada, así como la de la tradición de los cinemáticos de la Edad Media. Sea lo que sea, casi al mismo tiempo, más o menos, se elaboraron las obras de Bartholomaeus Soverus, *Tractatus de recti et curvi proportione* (Padua, 1630), de Grégoire de Saint-Vincent (en su mayoría inéditas), de las cuales sólo apareció el *Opus geometricum de quadratura circuli et sectionum coni* en vida de su autor (Amberes, 1647) y, finalmente, la del mismo Cavalieri.

de continuidad de Nicolás de Cusa (*divinus mihi Cusanus,* dice), Kepler realiza, sin dudarlo un instante, la operación del paso al límite, identificando pura y simplemente una curva con la suma de rectas infinitamente cortas (un círculo con un polígono de un número infinitamente grande de lados infinitamente cortos) y su área con la suma de rectángulos infinitamente numerosos e infinitamente pequeños (el área del círculo con la suma de una infinidad de triángulos infinitamente estrechos); el volumen de una pirámide o de un cuerpo en revolución con el de una suma de prismas infinitamente numerosos e infinitamente planos, y el de una esfera con la suma de un número infinito de conos que tienen como base círculos infinitamente pequeños [11].

Precisamente *contra* esta barbaridad lógica —que será codificada y elevada a la categoría de principio por Grégorie de Saint-Vincent en su infeliz interpretación del «método exhaustivo» de la ciencia griega [12] y que desembocará en lo infinitamente pequeño actual (diferencial fijo) de Leibniz [13]—, es contra

[11] J. Kepler, *Stereometria doliorum, Opera,* ed. Frisch, vol. IV, pp. 557 ss. Como sabemos, Kepler recibió un vivo contraataque en un opúsculo muy importante de Alexander Anderson, *Vindiciae Archimedis,* París, 1616.

[12] Gregorius a S. Vincente, *Opus geometricum,* p. 51. Cf. H. Scholz, «Wesshalb haben die Griechen die irrationalzahlen nicht ausgebaut», *Kantstudien,* XXXIII, 1928, pp. 50 y 52. A Grégorie de Saint-Vincent se debe la apelación —en sentido contrario— del término «método exhaustivo» para designar los métodos de Eudoxio y Arquímedes.

[13] Leibniz —lo que sin duda contribuyó en gran manera a hacer que fuera incomprensible Cavalieri para él— emplea el término *indivisible* interpretándolo erróneamente en el sentido de lo infinitamente pequeño actual y atribuyendo esta acepción del término al mismo Cavalieri. Cf. *Theoria motus abstracti* (*Leibnizens Mathematische Schriften,* ed. G. I. Gerhardt, libro II, t. 2, Halle, 1860, p. 68): «*Fundamenta praedemonstrabililia,* § 4: Dantur *indivisibilia seu inextensa, alioquin nec initium nec finis motum corporisve intelligi potest*». Estos *inextensa* no son puntos matemáticos, sino entidades cuyas partes son «indistantes, cujus magnitudo est inconsiderabilis, inassignabilis, minor quam quae ratione, nisi infinita ad aliam sensibilem exponi possit; minor quam quae dai potest: atque hoc est fundamentum Methodi Cavalierianae, quo ejus veritas evidenter demonstratur, ut cogitentur quaedam ut sic dicum rudimenta seu initia linearum figurarumque quaelibet dabili minora». Sin duda, la errónea interpretación leibniziana se explica por el hecho de que Leibniz —al contrario que Cavalieri— se ocupa de problemas de dinámica y no de geometría pura. Por lo tanto, se enfrenta con el problema de la composición del *continuum* —trayectoria— a partir de elementos infinitesimales: velocidades o desplazamientos instantáneos. Por este hecho —lo cual es casi lo mismo— se ve obligado a extender los métodos de Cavalieri a la comparación no ya de figuras, sino de rectas, es decir, a un dominio en el cual son inaplicables, y por lo tanto a reintroducir en su análisis del *continuum* los infinitamente pequeños de los que Cavalieri había querido li-

la que me parece dirigido el intento de Cavalieri. A la noción kepleriana de lo infinitamente pequeño, elemento constitutivo del objeto geométrico, que tiene, a pesar de su infinita pequeñez, *tantas dimensiones* como el objeto en cuestión, opone la de lo *indivisible* que *no es* lo *infinitamente pequeño* y que tiene, rotunda y francamente, una dimensión menos que el objeto estudiado [14]. Por eso la crítica fundamental de Guldin [15], idéntica en el fondo a la de Roberval [16], que reprocha a Cavalieri querer

brarse; de este modo Leibniz nos revela los límites de la concepción cavalieriana y las razones profundas de su abandono.

[14] A menudo se ha observado que Cavalieri no define en ninguna parte lo que entiende por *indivisible.* Y así, en último lugar, Carl B. Boyer, *The concepts of the calculus,* Nueva York, 1939, p. 117: «Cavalieri at no point of his book explained precisely what he understood by the word *indivisible,* which he employed to characterise the infinitesimal elements used in his method. He spoke of these in much the same manner as had Galileo in referring to the parallel line representing velocities or moments as making up the triangle and the quadriteral.» Esto es perfectamente exacto. De todos modos no hay que olvidar que el concepto de *indivisible* tiene una larga historia y que figura en un buen lugar en las discusiones medievales sobre la *compositione continui,* discusiones que no conocemos, pero que Cavalieri y sus contemporáneos conocían bien. Además, a partir del uso que de él hace Cavalieri, resulta muy claro que el indivisible de un cuerpo es una superficie, el de una superficie, una línea, y el de una línea, un punto. Ese es justamente el punto débil del método de Cavalieri: tal como observó Torricelli, no se aplica a la comparación de líneas entre sí o necesita la admisión de una diferencia posible entre los puntos, es decir, la reintroducción de lo infinitamente pequeño.

[15] Paulus Guldinus, S. J., *Centrobaryca,* libro I, Vindoboniae, 1635; libro II, *ibid.,* 1640, libro III, *ibid.,* 1641; libro IV, *ibid.,* 1642. La crítica de Cavalieri se encuentra en el prefacio del libro II.

[16] G.-P. de Roberval, *Carta a Torricelli,* 1647, en *Opere di Evangelista Torricelli,* vol. III, Faenza, 1919, p. 487. Cf. H. G. Zeuthen, *Geschichte der Mathematik im XVI. und XVII. Jahrhundert.* Leipzig, 1903, p. 257: «Sogar nach der genaueren Erklärung in den *Exercitationes* erregten Cavalieris Begriffsbestimmungen Widerspruch. So verstanden ihn Roberval und andere dahin, als ob die Flächenräume selbst die Summen der unendlich vielen Parallelen darstellen sollten, als ob demnach eine Grösse von 2 Dimensionen aus unendlich vielen von einer bestehe. Das sagt Cavalieri allerdings nicht, er verursacht aber insofern selbst das Missverständnis, weil seine Bezeichnung der parallelen Sehnen als «unteilbar» anzudeuten scheint, dass sie selbst unendlich kleine Teile der Flächen sein sollen. Die *Exercitationes* enthalted freilich einen Beweis dafür dass sich die Summen der unendlich vielen Sehnen wie die Flächen verhalten; dies ist aber ziemlich allgemein gehalten. Si trifft die wichtige Voraussetzung, dass die Sehnen, deren Anzahl ins unendliche wächst, überall die gleichen Entfernungen haben sollen, nur indirect hervor.» Zeuthen se equivoca doblemente: *a)* la condición de «equidistancia» entre los «indivisibles» no es absoluta, sólo vale en el caso de igualdad de las figuras, y *b)* se encuentra, en esos casos, expresamente mencionada por Cavalieri; cf. *infra,* p. 347, n. 56. Además, el término *indivisible* no implica de ningún modo

componer líneas con puntos, superficies con líneas y cuerpos con planos (superficies), en vez de emplear, a la manera de Kepler, elementos infinitesimales homogéneos con el producto, no es concluyente; y más aún, es un contrasentido, en el sentido más estricto del término, porque va contra las intenciones más profundas de Cavalieri y le reprocha el no hacer precisamente aquello a lo que se opone con todas sus fuerzas y de lo que se enorgullece de poder evitar [17].

la concepción de partes infinitamente pequeñas, antes bien, al contrario, la excluye.

[17] Es curioso observar que la interpretación dada por Guldin a la concepción de Cavalieri es aceptada más o menos por todos los historiadores modernos del pensamiento matemático, lo mismo por aquellos que se adhieren a la crítica de Guldin que por los que tratan de defender a Cavalieri encontrando circunstancias atenuantes. Así A. G. Kästner en su *Geschichte der Mathematik* (t. III, Gotinga, 1799, p. 215) nos dice: «dass des Cavalierus Methode nicht geometrisch ist, weil sich Flächen nicht aus Linien zusammensetzen lassen u. s. w. weiss jetzo zugänglich». J. F. Montucla, *Histoire des mathématiques*, t. II, p. 38: «Cavalieri imagina el continuo como compuesto por un número infinito de partes que constituyen sus elementos últimos, o los últimos términos de la descomposición que de él se puede hacer, subdividiéndolos continuamente en trazos paralelos entre sí. Estos elementos últimos son los que llama *indivisibles* y en la relación según la cual aumentan o disminuyen es donde busca la medida de las figuras o las relaciones que existen entre ellas. No se puede negar que Cavalieri se expresa de una manera un poco dura para oídos acostumbrados a la expresión geométrica. A juzgar por esta manera de expresarse, se diría que concibe el cuerpo como compuesto por una cantidad infinita de superficies amontonadas las unas sobre las otras, las superficies, por una infinidad de líneas igualmente acumuladas, etc. Pero es fácil reconciliar este lenguaje con la sana geometría, mediante una interpretación que sin duda captó Cavalieri, aunque no la haya dado en la obra de la que hablamos. Solamente lo hizo después, cuando fue atacado por Guldin en 1640. Entonces mostró en una de sus *Exercitationes mathematicae (¡sic!)* que su método no es sino el *exhaustivo* de los antiguos, simplificado. En efecto, estas superficies, estas líneas cuyas relaciones y sumas considera Cavalieri, no son otra cosa que pequeños sólidos o los paralelogramos inscritos y circunscritos de Arquímedes, llevados a un número tan grande que su diferencia con la figura que rodean es menor que cualquier tamaño dado»; *ibid.*, p. 39: «Igualmente hay que concebir a las superficies, a las líneas, de las que Cavalieri hace los elementos de las figuras, como las últimas de las divisiones de las que hemos hablado más arriba, lo que basta para corregir lo que en su expresión hay de duro y de contrario al rigor geométrico». M. Marie, *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, t. IV, pp. 70 ss.: «El método de Cavalieri sólo puede conducir a resultados exactos, pero la idea primitiva había sido presentada por él de una manera muy viciada. Cavalieri considera los volúmenes como constituidos por superficies apiladas, las superficies como compuestas de líneas yuxtapuestas, y finalmente las líneas como compuestas por puntos colocados uno al lado del otro: y teniendo en cuenta a la vez el número de elementos que componen el objeto a medir y su extensión,

En efecto, Cavalieri no compone en absoluto la línea con puntos, ni el plano con líneas [18]: versado, lo mismo que Guldin (y mucho más que Kepler), en las discusiones medievales de

es como él llega a la medición de ese objeto. Aunque esta concepción sea absurda, se puede restablecer la verdad y dar rigor a los razonamientos devolviendo a los indivisibles la dimensión de la que Cavalieri hacía abstracción. Sus superficies apiladas no son otra cosa que trozos que tienen una longitud común de la que se puede hacer abstracción; sus líneas yuxtapuestas son superficies trapezoidales que tienen igualmente una superficie común, y finalmente sus puntos consecutivos son pequeñas rectas que tienen todas la misma longitud. El vicio de este método, si lo tiene, sólo consistía, por lo tanto, en la inexactitud de las expresiones empleadas para formularlo; los auténticos geómetras no se equivocaron por ello». A. Wolf, *A history of science, technology and philosophy in the sixteenth and seventeenth centuries*, Londres, 1935, p. 206: «This procedure gave the impression that he regarded a line as composed of a infinite number of sucessive points, a surface as made up of an infinite number of lines, and a solid of an infinite number of surfaces, such points, lines and surfaces being the indivisibles in question. This led to much misunderstanding and criticism of Cavalieri. For the elements into which volumes, areas, or lines are resolved by continual subdivision must themselves be volumes, areas or lines respectively. Cavalieri was probably well aware of it and used his indivisibles simply as a calculating device». Carl B. Boyer, *The concepts of the calculus*, p. 122: «Cavalieri did not explain how an aggregate of elements without thickness could make up an area or volume, although in a number of places he linked his idea of indivisibles with ideas of motion... in holding that surfaces and volumes could be regarded as generated by the flowing of indivisibles. He did not, however, developpe this suggestive idea into geometrical method»; *ibid.*: «Cavalieri conceived of a surface as made up of an indefinite number of equidistant parallel lines and a solid as composed of parallel equidistant planes, these elements being designated the indivisibles of the surface and of the volume respectively». No obstante, Boyer reconoce que Cavalieri quería evitar el paso al límite (que él llama «método exhaustivo»); cf. *ibid.*, p. 123: «He... appears to have regarded his method only as a pragmatic geometrical device for avouding the method of exhaustion; the logical basis of this procedure did not interest him. Rigor, he said, was affair of philosophy rather than geometry». Boyer remite a la p. 241 de las *Exercitationes geometricae* en las que, en realidad, Cavalieri no dice nada que se le parezca.

[18] Aunque, como ha observado excelentemente León Brunschvicg (cf. *Les étapes de la philosophie mathématique*, París, 1922, p. 165), Cavalieri no haya resistido [en su respuesta a Guldin] a la tentación de colocarse él «también en el terreno de la imaginación vulgar, sin tener en cuenta que la tosquedad y la evidente inexactitud de las comparaciones tendrían como efecto necesario hacer sospechoso el cálculo de los indivisibles» y haya llegado a presentarnos las superficies como telas formadas por hilos y a los sólidos como libros formados por hojas paralelas, toma sin embargo sus precauciones. En efecto, incluso cuando escribe esta infeliz frase *(Exercitationes geometricae*, p. 3, § 4), origen —o pretexto— de tanta incomprensión (cf. nota 17): «Huic manifestum est figuras planas nobis ad instar telae parellelis filis contextae concipiendas esse: solida vero ad instar librorum qui parallelis folijs coacervantur» tiene buen cuidado de

compositione continui sabe perfectamente que esto es imposible: ¿no es esta imposibilidad, por otra parte, la que se encuentra en el origen del concepto bastardo de lo infinitamente pequeño? [19]

El curso del pensamiento cavalieriano es un curso analítico y no sintético: no parte del punto, de la línea, del plano, para llegar, mediante una adición imposible, a la línea, al plano, al cuerpo. Por el contrario, parte del cuerpo, del plano, de la línea para descubrir en ellos, como elementos determinantes e incluso constitutivos —pero no componentes— el plano, la línea y el punto. Además, no alcanza a comprender estos elementos constitutivos y determinantes mediante un procedimiento de

decir *ad instar,* y añadir *(ibid.,* p. 4, § 5): «Cum vero in tela sunt semper fila et in libris semper folia numero finita, habent enim aliquam crassitiem, nobis in figuris planis lineae, in solidis vero plana numero indefinita seu omnis crassitiei experta, in utraque methodo supponenda sunt. His tamen utimur cum discrimine, nam in priori methodo illa consideramus ut collective, in posteriori vero ut distributive comparata». Sobre la diferencia de los dos métodos, véase más adelante, pp. 345-348.

[19] Así, a Guldin, que le había reprochado haber plagiado a Kepler, Cavalieri le responde con indignación defendiendo el valor y la superioridad de sus indivisibles sobre los «pequeños cuerpos» keplerianos. Cf. Kepler, *Opera omnia,* ed. Ch. Frisch, vol. IV, *In stereometriam doliorum notae editoris,* p. 657: «Ad haec [acusación de plagio] Cavalierus in libro quem inscripsit *Exercitationes geometricae sex* [Bolon., 1647], respondens Guldinus, inquit, hic declarare videtur se libros dictae geometriae accurate legere non potuisse. Si enim eos, qua congruebat diligentia, examinasset, tunc quoque potuisset animadvertere quam diversa sint utriusque methodi fundamenta. Keplerus enim ex minutissimis corporibus quodammodo majora componit, iisque utitur tamquam concurrentibus, ubi ipse hoc tantum dico, plana esse ut aggregata omnium linearum aequidistantium, et corpora ut aggregata omnium planorum pariter aequidistantium. Haec autem nemo non videt quam sint inter se diversa». El pasaje en cuestión se encuentra en las *Exercitationes,* III, cap. I, p. 180. Cavalieri continúa (*ibid.,* p. 181) oponiendo su concepción a la de Galileo: «Attamen ne debita erga tantum praeceptorem per me videatur intermissa reverentia aequo lectori considerandum propono Galileum... haec duo sustinere: Nempe continuum ex Indivisibilibus componi et subinde lineam ex punctis ijsque numero infinitis». En lo que concierne a las relaciones de Cavalieri y Kepler, no hay ninguna razón para no creer al primero cuando nos dice que supo de la *Stereometria doliorum* sólo después de haber concebido ya y desarrollado su propia teoría (cf. prefacio a la *Geometria continuorum)* y haberla utilizado sólo para sacar de ella problemas (los innumerables cuerpos nuevos, desconocidos para los antiguos, que Kepler había inventado) congratulándose, por otra parte, de ver que sus propios métodos le permitían no sólo llegar a los resultados obtenidos por éste (y por Arquímedes), sino además encontrar otros. En efecto, los métodos y las concepciones de Cavalieri se derivan directamente de los de Galileo. La lectura de la *Stereometria doliorum* permitió, probablemente, a Cavalieri clarificar sus propias ideas y tomar conciencia de su originalidad y oposición a las de Kepler; no las inspiró.

paso al límite, disminuyendo progresivamente, y hasta el desvanecimiento, la dimensión a eliminar y a reconstruir, es decir, comprimiendo el cuerpo hasta hacerlo «*infinitamente*» plano y estrechando el plano hasta hacerlo «infinitamente» corto: más bien al contrario, encuentra desde un principio estos elementos «indivisibles» cortando los objetos geométricos en cuestión mediante un plano o una recta que los atraviesa.

Efectivamente, el empleo de los indivisibles en lugar de lo infinitamente pequeño está destinado, en la intención de Cavalieri, a liberarnos del paso al límite con sus dificultades o, más exactamente, sus imposibilidades lógicas, reemplazándolo por la intuición geométrica (que Cavalieri maneja con mano maestra), cuya legitimidad parece indiscutible; y a permitirnos, al mismo tiempo, conservar todas las ventajas de los métodos infinitesimales cuya fecundidad había demostrado Kepler —generalidad, marcha directa de la demostración—, mucho más económicos que el largo recorrido y el particularismo de las pruebas arquimedeas [20].

La terminología de Cavalieri no debe inducirnos a error. Cuando Cavalieri nos habla de «todas las líneas» *(omnes lineae)* y de «todos los planos» *(omnia plana)* de una figura geométrica [21] y los declara equivalentes a aquélla, en absoluto pretende formar las «sumas» de estas líneas o de estos planos [22]. Por el

[20] El acuerdo de estas demostraciones con las de Arquímedes —y, en general, con la geometría griega— es para Cavalieri una prueba de la validez de su método. Se podría —dice— demostrar cualquier cosa utilizando las técnicas arquimedeas, pero ¡qué trabajo tan grande sería!

[21] Cf. *Geometria continuorum*, libro II, dif. I y II, pp. 99 ss. citadas más adelante en la nota 23.

[22] H. G. Zeuthen, *Geschichte der Mathematik im XVI. und XVII. Jahrhundert*, Leipzig, 1903, pp. 256 ss.: «Der grosse Fortschritt bei Cavalieri besteht darin, dass er allerdings in durchauss geometrischer Form —und übrigens in engem Anshluss an Keplers Darstellung der von ihm gebrauchten Integrale— einem abstracten und allgemeinen Begriff aufstell, der mit dem späteren analytischen Begriff des bestimmten Integrals genau zussammenfällt, und dass er sodann diesen Begriff einer allgemeinen Behandlung unterzieht. Sein Fundamentalbegriff ist "die Summe aller parallelen Sehnen in einer geschlossenen Flache" oder kürzer "alle" diese Sehnen. Er weiss zwar dass diese Summe unendlich, und dass das Verhältnis zwischen zwei solchen Summen im allgemeinen unbestimmt ist; allein dies Verhältnis erlangt einen bestimmten Grenzwert, wenn die beiden Flächen zwischen denselben beiden Parallelen eingeschlossen sind, und wenn die parallelen Sehnen, deren Summe in Betracht kommt, auf denselben zu diesen Grenzstellungen parallelen und gegenseitig äquidistanten Geraden abgeschnitten werden. Das Verhältnis wird dann das nämliche wie das zwischen den beiden Flächen, innerhalb deren die Sehnen abgeschnitten werden.» No hay nada que objetar a la exposición del gran historiador danés, excepto que Cavalieri jamás habla de *Grenzwert* (valor límite), ni

contrario, declara que el conjunto de un número indefinido (infinito) de elementos es, en general, él mismo indefinido (infinito) y que tales conjuntos nunca pueden ser relacionados. Sin embargo, piensa que esta proposición no es universalmente válida y, en especial, que cualquiera que sea la opinión que se tenga sobre la naturaleza del *continuum*, a saber, que se admita que en el *continuum* (una superficie) sólo hay líneas o que se admita que hay, además, algo más que líneas, no se puede dejar de reconocer el hecho patente y cierto que las encontramos *en todas partes* y que, al atravesar una superficie, las encontramos a *todas*. Por ello estima que es imposible negar la equivalencia de una superficie (figura) dada con *todas* sus líneas y poner en duda que la relación del conjunto de todas las líneas de una figura con el conjunto de todas las líneas de otra es la misma que se establece entre las figuras mismas. De otro modo, habría que negar la posibilidad de comparar dos figuras entre sí, lo cual es evidentemente absurdo[23]. Esta constatación justifica

de «sumas», sino de conjuntos (*congeries*, término que M. Cantor, *Geschichte des Mathematik*, t. II, Leipzig, 1900, p. 835, traduce justamente por *Gesammtheit*) o agregados (*aggregatum*). El empleo que hace Zeuthen de los términos «suma» y «valor límite» es típico y característico de la interpretación errónea, aunque bienintencionada, del pensamiento de Cavalieri.

[23] El teorema I del segundo libro de la *Geometria continuorum* (p. 100) proclama que los conjuntos formados por «todas las líneas» de una figura y por «todos los planos» de un cuerpo geométrico son dimensiones susceptibles de mantener relaciones determinadas con los conjuntos análogos de otra figura, o de un cuerpo: «Quarumlibet planarum figurarum omnes lineae recti transitus et quarumlibet solidorum omnia plana, sunt magnitudines inter se rationem habentes.» La demostración, bastante confusa, se funda sobre la posibilidad de igualar una figura dada con una parte de otra; en ese caso, el conjunto de las líneas de la primera será al conjunto de las líneas de la segunda como la parte al todo. De todos modos, Cavalieri añade, en un escolio muy importante al teorema (p. 111): «*Scholium*. Posset forte quis circa hanc demostrationem dubitare, non recte percipiens quomodo indefinitae numero lineae, vel plana, quales esse existimari possunt, quae a me vocantur, omnes lineae, vel omnia plana talium, vel talium figurarum possint ad invicem comparari: propter quod innuendum mihi videtur, dum considero omnes lineae, vel omnia plana alicuius figurae, me non numerum ipsarum comparare, quem ignoramus, sed tantum magnitudinem, quae adaequatur spatio ab eisdem lineis occupato cum illi congruat, et, quoniam illus spatium terminis comprehenditur, et ideo et earum magnitudo est terminis eisdem comprehensa, quopropter illi potest fieri additio, vel subtractio, licet numerum earundem ignoremus; quod sufficere dico, ut illa sint ad invicem comparabilia: Vel enim continuum nihil aliud est praeter ipsa indivisibilia, vel aliud, si nihil est praeter indivisibilia, profecto si eorum congeries nequit comparari, neque spatium, sive continuum, erit comparabile, cum illud nihil aliud esse ponatur, quam ipsa indivisibilia: Si vero continuum est aliquid aliud

el empleo de los *indivisibles*[24] y nos permite sustituir el estudio de las relaciones entre las figuras por el de las relaciones que subsisten entre sus elementos, con la condición, no obstante, de que sepamos establecer una correspondencia unívoca y recíproca[25] entre estos elementos. Es para lo que sirve, principalmente, el método denominado de la regla común *(regula communis).*

La noción de *regula* —término que tendría que traducirse como *directriz*— desempeña una función muy importante en el pensamiento de Cavalieri, como lo ha visto bien M. Cantor[26]. Es definida, para la figura plana (cerrada) o el cuerpo geométrico, como la recta o el plano que son tangentes a dicha figura o a dicho cuerpo en un punto llamado por ello vértice *(vortex);* paralelamente a esta *regula* se pueden trazar otras (innumerables) rectas (o superficies planas) de las cuales sólo una (o sólo un plano) formará la *tangente opuesta (tangens opposita*[27]). La figura o el cuerpo en cuestión se encuentran, por lo tanto, colocados y como encerrados entre dos rectas o planos paralelos.

praeter ipsa indivisibilia, fateri aequum est hoc aliquid aliud interiacere ipsa indivisibilia, habemus ergo continuum disseparabile in quaedam, quae continuum componunt, numero adhuc indefinita, inter quaelibet enim duo indivisibilia aequum est interiacere aliquod ilius, quod dictum est esse aliquid in ipso continuo praeter indivisibilia, quae enim ratione tolleretur a medio duarum, a medijs quoque caeterarum tolleretur; hoc cum ita sit comparare nequibimus ipsa continua, siue spatia ad inuicem, cum ea, quae colliguntur, et simul collecta comparantur, scilicet quae continuum componunt, sint numero indefinita, absurdum autem est dicere continua terminis comprehensa non esse ad inuicem comparabilia, ergo absurdum est dicere congeriem omnium linearum siue planorum, duarum quarumlibet figurarum non esse ad inuicem comparabilia, non obstante, quod quae colliguntur, et illam congeriem componunt sint numero indefinita, veluti hoc non obstat in continuo, siue ergo continuum ex indivisibilibus componatur, siue non, indivisibilium congeries sunt ad inuicem comparabiles, et proportionem habent.»

[24] M. Cantor *(loc. cit.)* nos dice que en este pasaje es donde aparece el término *indivisible* por primera vez. En realidad, lo encontramos ya en la página *98.*

[25] El término que empleo aquí no es, evidentemente, de Cavalieri. Creo que corresponde bien a su pensamiento, cf. más adelante, pp. 337 ss.

[26] Cf. M. Cantor, *op. cit.*, p. 834.

[27] Cf. *Geometria continuorum,* p. 3 dif. E: «Regula apellabitur in planis recta linea cui quaedam lineae ducuntur aequidistantes, et in solidis, planum cui quaedam plana ducuntur aequidistantia, qualis in superioribus est recta linea, vel planum, cuius respectu sumuntur vertices, vel opposita tangentia, cui vel utraque vel alterum tangentium aequidistat.»

Si ahora —considerando en primer lugar el caso más simple, el de las figuras planas (por otro lado, el caso de los cuerpos es rigurosamente análogo)— trazamos a través de las dos tangentes opuestas planos paralelos y si a partir del primero —el que pasa por la *regula*— hacemos correr (o más exactamente, *fluir:* Cavalieri, en efecto, emplea el término *fluere)* paralelamente a él un plano móvil hasta que coincida con el que pasa por la *tangens opposita*, entonces, en su *transitus* el plano móvil coincidirá sucesivamente con *todas* las líneas de la figura en cuestión y mediante sus intersecciones *con ellas* las determinará *a todas* [28].

[28] *Ibid.*, libro II, dif. I, pp. 99-100: «Si per oppositas tangentes cuiuscunquae datae planae figurae ducantur duo plana inuicem parallela, recta, sive inclinata ad planum datae figurae, hinc inde indefinite producta; quorum alterum moveatur versus reliquum eidem semper aequidistans donec illi congruerit: singulae rectae lineae, quae in toto motu sunt communes sectiones plani moti, et datae figurae, simul collectae vocentur: omnes lineae talis figurae sumptae regulae una earumdem, et hoc cum plana fuerint recta ad datam figuram: Cum vero ad illam sunt inclinata vocentur: omnes lineae ejusdem obliqui transitus datae figurae, regula pariter earumdem una»; dif. II: «Si proposito quocumque solido, ejusdem opposita plana tangentia regula, quacunque ducta fuerint hinc inde indefinite producta, quorum alterum versus reliquum moveatur semper eidem aequidistans, donec illi congruerit: singula plana, quae in toto motu concipiuntur in proposito solido simul collecta, vocentur: omnia plana propositi solidi sumpta regula eorundem una.» *Ibid.*, p. 104, apéndice: «communes sectiones talis moti sive fluentis plani, et figurae». Cf. *Exercitationes geometricae*, p. 4. Es interesante citar el comentario de A. G. Kästner, *Geschichte der Mathematik*, III, pp. 206-207: «Folgendes ist die erste Definition dieses Buches: Eine ebene Figur wird durch zwo parallele Ebenen begränzt welche auf ihre Ebene senkrecht oder shief stehn; Eine dieser Ebenen bewege sich gegen die andre immer sich selbst parallel; Von dem Durchschnitte der bewegten Ebene mit der Ebene der Figur, fällt ein Theil innerhalb der Figur, wird nun die Bewegung fortgesetzt bis die bewegte Ebene auf die ihr gleich anfangs parallele unbewegte fällt, se nennt C. die Linien welche nach und nach der bewegten Ebene un der Figur gemein sind, zusammen: Alle Linien dieser Figur, eine derselben als Regel (pro regula) angenommen. Eben so was sagt die zweyte Definition von einer Ebene die sich selbst parallel durch einen Körper bewegt, bis sie mit einer anderen unbewegten Ebene die den Körper begräntz zussammenfällt, die Ebenen welche sie nach und nach mit dem Körper gemein hat, heissen: alle Ebenen desselben, eine, etwa die äusserste für Regel genommen. Zwey Postulate. Das erste: Congruentium planar. figurar. omnes lineae sumtae una earumdem ut regula communi sunt congruentes et congruentium solidorum omnia plana, sumto eorum uno ut regula communi pariter sunt congruentia. Er citirt dazu die beyden angeführten Definitionen, da die Definitionen nichts von Congruenz sagen, so bekenne ich dass ich dieses Postulat nicht verstehe, das zweyte welches von ähnlichen Figuren spricht, auch nicht.» La utilización que Cavalieri hace de la noción de plano móvil en la definición de la *congeries* de *omnes lineae figurae* es extremadamente hábil. No es en absoluto necesaria:

Las relaciones de las figuras geométricas son las mismas que las de los conjuntos de sus elementos. De todos modos, si para establecer esas relaciones tuviéramos que considerar los conjuntos en cuestión en su totalidad, la ventaja del nuevo método sobre el antiguo sería mínima, o incluso nula. El gran descubrimiento de Cavalieri consiste precisamente en reconocer que si llegáramos a establecer una relación constante y determinada entre elementos correspondientes de los conjuntos comparados —relación que no uniría directamente *todos* los elementos de un conjunto con *todos* los elementos del otro, sino en primer lugar «cada» elemento de uno con «cada» elemento del otro— tendríamos derecho a trasladar, o extender, a los conjuntos, es decir, a las figuras enteras, la relación entre sus elementos.

Ahora bien, ¿cómo determinar estos elementos correspondientes? Ese es el problema principal del método de los indivisibles. En el caso más simple, cuando las figuras en cuestión poseen la misma altura, se consigue colocándolas de una manera conveniente entre rectas paralelas, es decir, dándoles la misma *regula* y la misma tangente opuesta [29]. En ese caso, es el

se podría partir de la concepción de todos los puntos *(omnia puncta)* de una recta; luego se podría trazar una perpendicular en todos y cada uno de estos puntos, como, por otra parte, el mismo Cavalieri hace (cf. *Geometria continuorum*, pp. 101-102: *omnes abscissae*). Pero, sin lugar a dudas, al proceder de esta manera, no podrían evitarse las discusiones sobre la composición del continuo, exponiéndose, no sin razón aparente, al reproche de construir el plano con líneas. El plano móvil no constituye la figura: la atraviesa y, mediante su movimiento, en el que ya se encuentra incluida la noción de continuidad, corta *todas* sus líneas, sin olvidar ninguna, y sin permitir que coincidan; y así el movimiento asegura la exterioridad recíproca de las líneas de la figura e introduce, en realidad, la dimensión complementaria que los críticos de Cavalieri le reprochan no haber incluido en sus indivisibles. Se podría decir que el plano móvil no encuentra en el *continuum* de la figura nada más que líneas porque ya lleva en sí lo que hay de más. Podríamos preguntarnos por qué, para su determinación de la noción de «todas las líneas» de una figura, Cavalieri recurre al plano y no a la recta, cuyo paso a través de la figura *(transitus)* definiría los indivisibles. M. Cantor *(op. cit.*, p. 842, cf. *infra*, nota 44) lo explica por el deseo de Cavalieri de preparar de este modo, con mucho tiempo de anticipación, las bases intuitivas de su famosa proposición sobre la relación del conjunto de los cuadrados del triángulo con el de los cuadrados del paralelogramo. Es posible, pero es más sencillo suponer que Cavalieri adoptó simplemente el método más general que podría aplicarse indiferentemente a los casos de indivisibles lineales o planos, rectos o curvilíneos, a reserva de no emplear en la práctica, cuando sólo se trata de figuras planas, más que el *transitus* de la recta.

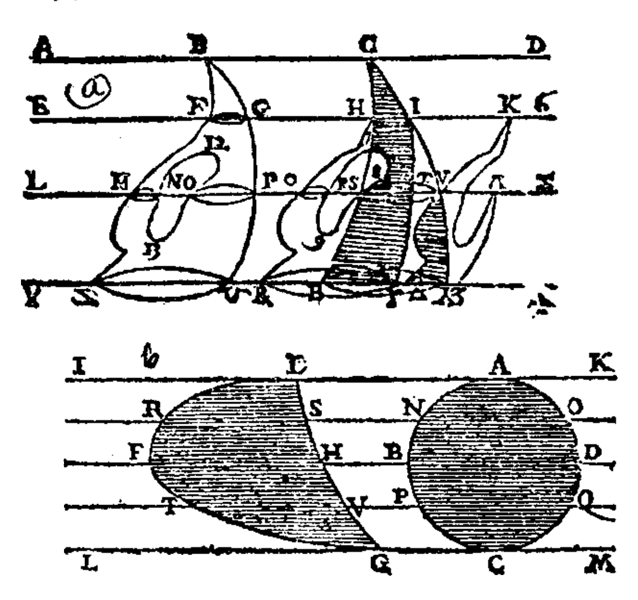
[29] La *regula* se llama entonces *regula communis* y el plano móvil atraviesa las dos figuras en un solo *transitus*.

plano móvil común quien determina —y coordina—, mediante su *transitus*, los elementos correspondientes.

Sería de esperar que Cavalieri comenzara por el estudio de la igualdad de las figuras geométricas. Pero, sin duda, estima que se trata de un caso demasiado simple. Por tanto, no lo trata más que de paso, y sólo a propósito de figuras bastante inhabituales; por ejemplo, en la *Geometria continuorum*, estableciendo la igualdad de las lúnulas con triángulos curvilíneos y de éstos con triángulos rectilíneos o, en las *Exercitationes*, mostrándonos la igualdad de un círculo con una figura bastante deforme obtenida por la deformación de éste, o estudiando figuras absolutamente irregulares[30].

Así pues, despreciando la igualdad, Cavalieri aborda directamente el estudio de la proporcionalidad. Por ejemplo, en dos paralelogramos (de la misma altura) que poseen una regla común, es decir, cuyas bases están situadas sobre una de las paralelas y los lados opuestos sobre la otra, cualquier recta paralela a las bases cortará en los dos paralelogramos segmentos correspondientes (homólogos) cuya relación es constante, e igual

[30] Cf. la figura 4 de la página 337 y las que se dan en la *Geometria continuorum*, p. 485, y en las *Exercitationes geometricae*, p. 4 (cf. la figura de abajo).



a la de las bases entre sí. Se sigue que los paralelogramos (las superficies) son entre sí como lo son sus bases [31].

El dibujo de Cavalieri presenta el caso más simple. Pero es evidente —tan evidente que Cavalieri descuida enunciarlo— que el paralelismo de los lados AG y CH de los paralelogramos en cuestión no tiene nada que ver y que la igualdad, o desigualdad, de los ángulos que forman con sus bases carece de importancia. Lo único que importa es la relación entre DE y EI, igual a la que hay entre GM y MH (fig. 1). Torricelli sacará incluso la conclusión de que el hecho de tener por lados rectas carece de importancia y que pueden reemplazarse por círculos o por cualquier clase de curvas.

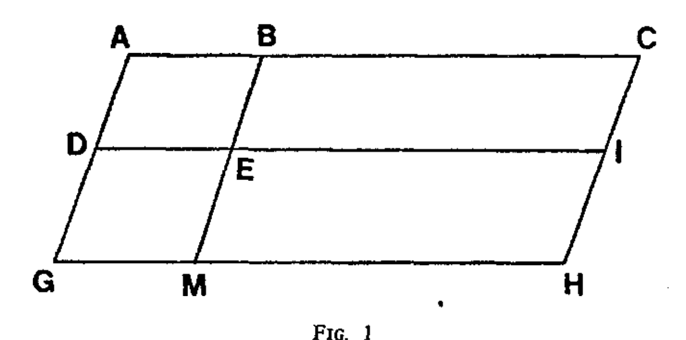


FIG. 1

Los indivisibles correspondientes (homólogos) de los paralelogramos tienen una longitud constante. Pero esto no es en absoluto necesario y Cavalieri nos presenta el caso de dos figuras cuyos elementos correspondientes tienen un tamaño variable siguiendo siempre en la misma relación: si la relación de BR con RD es igual a la de AM con ME (siendo BR cualquier línea paralela a la base AM), la relación de las figuras ACM y CME será igual a ésta [32] (fig. 2).

[31] *Geometria continuorum*, libro II, *theorema* V, *prop.* V, p. 117. En la demostración de este teorema, Cavalieri abandona la técnica del plano móvil y simplemente dice: tracemos una paralela *cualquiera* (el subrayado es mío).

[32] *Ibid.*, *theorema* IV, *prop.* IV, p. 115: «Si duae figurae planae, vel solidae, in eadem altitudine fuerint constitutae ductis autem in planis rectis lineis, et in figuris solidis ductis planis utcumque inter se parallelis, quorum respectu praedicta sumpta sit altitudo, repertum fuerit ductarum linearum portiones figuris planis interceptas, esse magnitudines proportionales, homologis in eadem figura semper existentibus, dictae figurae erunt inter se, ut unum quolibet eorum antecedentium ad suum conse-

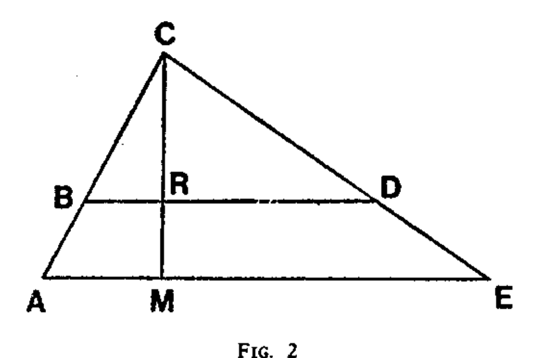


FIG. 2

Consideraciones análogas se aplican de modo igualmente feliz y eficaz a casos más complejos, por ejemplo, al de la determinación de las relaciones entre las superficies de una elipse y de un círculo. En efecto, basta tomar un círculo cuyo diámetro sea igual a uno de los ejes de la elipse. Si se los coloca entre dos paralelas, se comprueba que el plano móvil (o su *transitus*) determina en cada una de las dos figuras elementos (lineales) correspondientes que siempre —donde quiera que se coloque la regla— están en la misma relación que el diámetro del círculo con el otro eje de la elipse. Igualmente se encuentra así determinada la relación de las superficies [33].

Es evidente que la técnica de la «regla común» no es aplicable siempre ni en todos los casos: por lo menos no directamente, sobre todo cuando las figuras estudiadas, al ser de diferentes dimensiones, no se dejan colocar entre paralelas. Sin embargo, incluso entonces, se puede, colocándolas convenientemente y trazando líneas complementarias, es decir, formando figuras auxiliares, determinar las relaciones buscadas por medio de la aplicación sucesiva de la técnica en cuestión. Así pues, volviendo al estudio de los paralelogramos, se demuestra *a)* que los que tienen la misma base están en la misma relación que sus alturas, y *b)* que los que tienen bases y alturas diferentes

quens in alia figura eidem correspondens.» Observemos que, para el estudio de las figuras planas, Cavalieri se sirve de un *línea* paralela y no utiliza el *plano* más que para la comparación de los cuerpos; observemos igualmente que deduce de la relación entre cualquier par de elementos la relación del conjunto; observemos finalmente que el dibujo de Cavalieri hace muy poco plausible la verdad de su teorema.

[33] Cf. *ibid.*, libro III, *theorema* IX, *prop.* X, p. 211.

se encuentran en una relación «compuesta» por la de las bases y la de las alturas [34]. Pasamos ahora a las figuras semejantes. En el caso del triángulo (fig. 3) la demostración es simple: basta superponer los triángulos ACB y EDB y trazar la línea CE. Los triángulos ACB y ECB se encuentran entonces en las condiciones requeridas para que se puedan comparar; de igual modo los triángulos ECB y EDB. De esta manera se llega al resultado de que las figuras semejantes se encuentran en la relación de los cuadrados de sus líneas correspondientes [35].

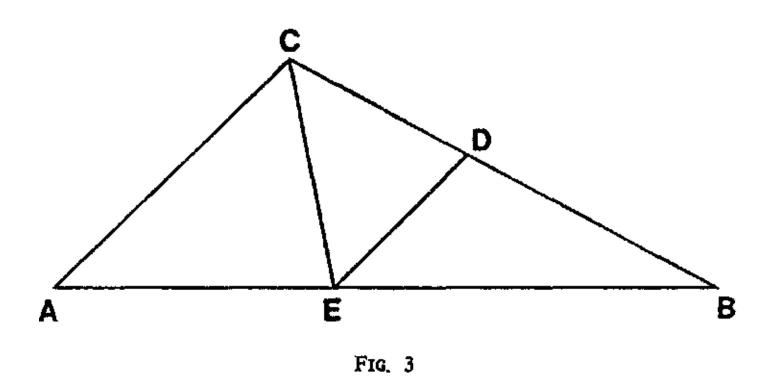


FIG. 3

Para la demostración del caso general, Cavalieri opera con lúnulas que se igualan en primer lugar a triángulos curvilíneos, después a triángulos rectilíneos, y finalmente se comparan entre sí [36]. El procedimiento empleado por Cavalieri equivale a la deformación continua de las figuras estudiadas; así pues, no es sorprendente que los historiadores modernos le hayan atribuido muy a menudo la utilización de este último método [37].

[34] *Ibid.*, libro II, *theorema* V, *prop.* V, p. 117: «Parallelogramma in eadem altitudine existentia, inter se sunt, ut bases; et quae in eadem basi, ut altitudines»; *theorema* VI, *prop.* VI, p. 118: «Parallelogramma habent rationem compositam ex ratione basium et altitudinum juxta easdem bases sumptam.»

[35] Cf. M. Cantor, *op. cit.*, p. 836.

[36] *Geometria continuorum*, II, *theorema* XV, *prop.* XIV, pp. 127 ss. Es interesante citar el corolario I (p. 131) del teorema «quia... figurae planae similes ostensae sunt esse in dupla ratione linearum, vel laterum homologorum, quae aequidistant regulis utcunque sumptis, potet easdem esse in dupla ratione quarumvis homologarum.» La demostración de Cavalieri es demasiado larga para reproducirla aquí. Se puede encontrar una buena exposición, abreviada, en H. G. Zeuthen, *op. cit.*, pp. 257 ss.

[37] Así, J. F. Montucla, *op. cit.*, p. 41; H. G. Zeuthen, *op. cit.*, p. 258.

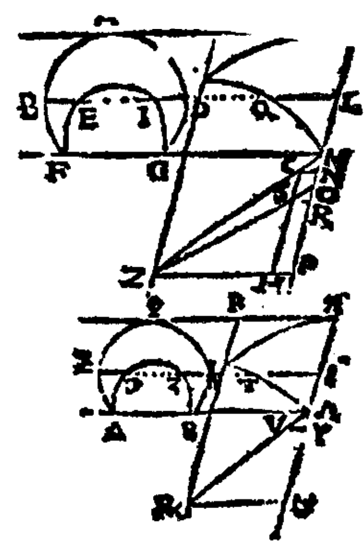


FIG. 4

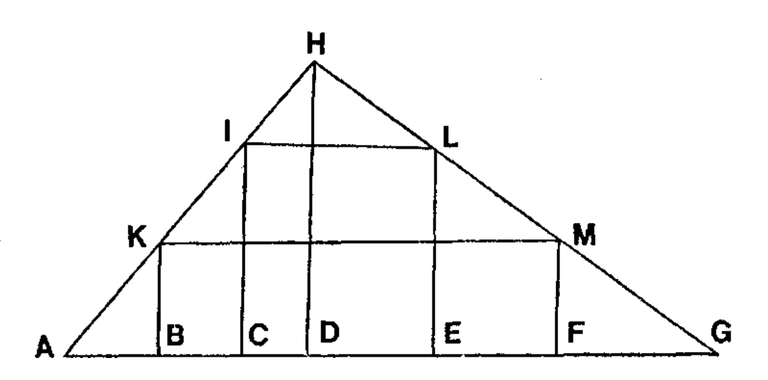
La noción de elementos (indivisibles) correspondientes desempeña un papel de primera magnitud en el pensamiento de Cavalieri; por ello insiste sobre la necesidad de poner en relación sólo los elementos «homólogos» de las figuras estudiadas. En efecto, no basta establecer una coordinación unívoca y recíproca entre los elementos indivisibles de las figuras estudiadas: es preciso además que esos elementos sean «homólogos», es decir, que ocupen en las figuras en cuestión posiciones «correspondientes»: dicho de otro modo, que desempeñen la misma función en su estructura. En efecto, si se descuida esta exigencia fundamental y se ponen en relación elementos no homólogos, se llega a conclusiones paradójicas, e incluso falsas [38].

[38] Cf. *Exercitationes geometricae, Exerc. tertia,* cap. XV, p. 238: «In quo solvitur quaedam difficultas, quae contra indivisibilia fieri poterat, licet eam Guldinus non animadvertit.» Supongamos dos triángulos rectángulos con la misma altura, pero con bases diferentes, HDA y HDG. A cada línea paralela a HD del segundo, MF, LE corresponde una línea KB, IC del primero. Parece que se debería poder concluir que el conjunto de las líneas del primero es igual al conjunto de las líneas del segundo y, por lo tanto, que HDA es igual a HDG. Pero, responde Cavalieri, en relación con el *transitus* de A a H, las líneas KB, IC *non aequaliter distent inter se ac duae* MF, LE; por lo tanto, no son líneas correspondientes u homólogas

No hay que olvidar tampoco que la aplicación de la técnica de la *regula* (plano móvil que determina los elementos correspondientes de las figuras comparadas) está ella misma sometida a las condiciones de la homología.

Por lo tanto, cuando se estudia la relación de un triángulo con el paralelogramo que lo completa (la relación de los dos triángulos cortados en el paralelogramo por la diagonal) o, lo que es lo mismo, cuando se quiere determinar la superficie de un triángulo, se da uno cuenta de que el plano móvil traza en los triángulos pegados las líneas HE, NH que, aunque están ligadas por una coordinación unívoca y recíproca, no se corresponden en absoluto (no son homólogas). Por el contrario, las líneas HE y BM, que están recíprocamente a la misma distancia de los vértices y de las bases de los dos triángulos AFC y CDF, se corresponden (son homólogas [39]) (fig. 5). Por lo tanto, su igualdad implica la igualdad de los triángulos en cuestión y, por lo tanto, el hecho de que la superficie de un triángulo (el conjunto de sus líneas) sea exactamente igual a la mitad de la de un paralelogramo que tenga la misma base y la misma altura [40].

(pp. 238 ss.). Por el contrario, la técnica de la «regla común», que determina las líneas IL, KM permitirá un uso correcto del método.



[39] *Geometria continuorum*, II, *theor.* XIX, *prop.* XIX, p. 146: «Si in parallelogrammo diameter ducta fuerit, parallelogrammum duplam est cujusuis triangulorum per ipsam diametrum constitutorum.»

[40] De ahí se deduce *(corolarium* I, p. 147) que «in unoquoque expositorum triangulorum sumptis duobus quibusuis lateribus, fieri potest sub illis in eodem angulo parallelogrammum cuius triangulum sit dimidium». La demostración de Cavalieri se funda en el análisis de la figura abajo representada, en la que AB = BC y, por lo tanto, las líneas RT del triángulo CEA son iguales a RS (= la mitad de AC) + ST, y las líneas TV del

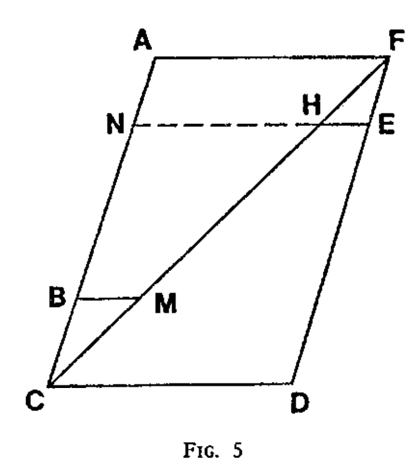
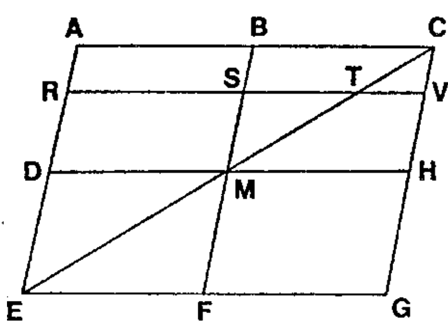


FIG. 5

Ahora podemos ir más lejos y considerar no ya el conjunto de las líneas (indivisibles) trazadas o marcadas respectivamente, en el triángulo AFC y el paralelogramo AFCD, por el plano móvil [41] que se desplaza de AF a CD, sino el conjunto de los cuadrados construidos sobre las líneas [42]. Evidentemente uno de estos conjuntos será un paralelepípedo (prisma cuadrado), el otro

triángulo CEG a SV (= la mitad de AC) — ST. Se puede encontrar una exposición simplificada, pero exacta, en Zeuthen, *op. cit.*, p. 260.



[41] Cavalieri, es cierto, no habla explícitamente del plano móvil, pero éste se encuentra presupuesto en la noción de *regula*.

[42] Los teoremas IX, X, XI, XII, XIII (pp. 120-125) habían introducido la noción de todos los cuadrados *(omnia quadrata)* del paralelogramo y establecido que (prop. XI) «quorumlibet parallelogrammorum omnia quadrata... habent inter se rationem compositam ex ratione quadratorum dictorum laterum (bases) et altitudinum» y que (*prop.* XIII) «similium parallelogrammorum omnia quadrata... sunt in tripla ratione laterum homologorum».

una pirámide con una base cuadrada igual a la de ese paralelepípedo. Es posible demostrar que la relación de este segundo conjunto con el primero será igual a 1/3[43].

Esta proposición que, desde el punto de vista estrictamente geométrico, no aporta evidentemente nada nuevo —en efecto, todo el mundo sabe que una pirámide es igual al tercio del prisma erigido sobre su base— ocupa, no obstante, un lugar muy importante en la obra de Cavalieri y éste no deja de insistir en su trascendencia y en los progresos que permite realizar[44]. En

[43] *Theorema* XXIV, prop. XXIV.: «Exposito parallelogrammo quocumque, in eoque ducta diametro, omnia quadrata parallelogrammi ad omnia quadrata cuiusvis triangulorum per dictam diametrum constituorum erunt in ratione tripla.» En el teorema XXII, p. 150, se ha demostrado que esta relación es constante para todos los paralelogramos. M. Cantor, *op. cit.*, p. 842, estima que, en previsión de este teorema, Cavalieri determina sus indivisibles mediante la intersección con el plano de la figura estudiada de un plano —y no de una línea— móvil: «Man könnte die Frage aufwerfen wesshalb eine solche Entstehungsweisse der durch eine sich fortschiebende Gerade vorgezogen ist? Cavalieri aüssert sich nicht darüber aber vielliecht bestach ihn, dass diese Auffassung ihm gestattete, den Satz von dem Verhältnisse der Gesammtheiten von Quadraten der Geraden des Parallelogrammes und des halbsogrossen Dreiecks den Sinnen näher zu bringen. Besitzt die fliessende Ebene welche man senkrecht zu den gegebenen Figuren sich vorstellen darf, die Gestalt eines Quadrates derjenigen Geraden, durch welche sie just hindurch geht, so bilden alle diese Quadrate über dem Parallelogramme ein Parallelopipedon, über dem Dreiecke eine Pyramide, welche, da beide Körper von gleicher Höhe und gleicher Grundfläche sind, ein Drittel des Parallelopipedons an Rauminhalt besitzt». Evidentemente, esto es completamente posible. No obstante hay que notar que, en su demostración del teorema en cuestión, Cavalieri no hace ningún empleo de esta posibilidad de hacer la relación entre los conjuntos de cuadrados accesible a los sentidos. Por el contrario, su demostración se basa en el estudio de la figura plana.

[44] Cf. *Exercitationes geometricae*, Ex. *quarta*, pp. 12 ss. J. F. Montucla, *op. cit.*, pp. 39-40, caracteriza muy bien esta «segunda» parte de la *Geometría* de Cavalieri, aunque su caracterización de la primera deja que desear (teniendo en cuenta, desde luego, su error de interpretación originario): «La geometría de los indivisibles se puede dividir en dos partes: una tiene como objeto la comparación de las figuras entre sí con la ayuda de la igualdad o de la relación constante que reina entre sus elementos semejantes. Es lo que ocupa al geómetra italiano en su primer libro, y en una parte del segundo. Allí demuestra a su manera la igualdad o las relaciones de los paralelogramos, triángulos, prismas, etc., con una misma base y una misma altura. Todo lo cual se puede reducir a una proposición general que es ésta: *Todas las figuras cuyos elementos aumentan o disminuyen de modo parecido de la base al punto más alto, están en la misma relación con la figura uniforme de la misma base y altura.*

«La segunda parte de la geometría de los indivisibles se ocupa de la determinación de la relación de la suma de esta infinidad de líneas o de planos crecientes o decrecientes con la suma de un número semejante de elementos homogéneos con los primeros, pero todos iguales entre sí.

lo cual tiene toda la razón del mundo. Porque su proposición, que él por otra parte llega a extender a potencias superiores a 2 [45], superando, por lo tanto, el marco de la geometría propiamente dicha, y cuyo valor general, afirma incluso, es el equivalente exacto —como bien ha dicho Zeuthen [46]— de la fórmula fundamental del cálculo integral (que por lo demás salió de ahí).

$$\int_0^a x^2dx = \frac{1}{3}a^3 \text{ y de su generalización } \int_0^a x^n dx = \frac{1}{n+1}a^{n+1}$$

La noción de todos los cuadrados (*omnia quadrata*) de una figura plana, noción que por otra parte Cavalieri generaliza a la de todos los paralelogramos (*omnia parallelogramma*) en un

Un ejemplo viene a aclarar esto. Un cono, según el lenguaje de Cavalieri, está compuesto por un número infinito de círculos decrecientes de la base al punto más alto, mientras que el cilindro de la misma base y de la misma altura, se compone de una infinidad de círculos iguales. Por lo tanto, tendremos la razón del cono y el cilindro si encontramos la relación de la suma de todos los círculos decrecientes en el cono, infinitos en número, con la de todos los círculos iguales del cilindro, cuyo número es igualmente infinito. En el cono, estos círculos decrecen de la base al punto más alto, como los cuadrados de los términos de una progresión aritmética. En los demás cuerpos siguen otra progresión... El objetivo general del método es asignar la relación de esta suma de términos crecientes o decrecientes con la de términos iguales de la que está formada la figura uniforme y conocida de la misma base y altura.»

Ya he dicho que Cavalieri nunca habla de «sumas», sino siempre de conjuntos o agregados.

[45] En un principio lo hizo en su *Centuriae di varii problemi per dimostrare l'uso et la facilita dei logaritmi nella Gnomonica, Astronomia, Geografia* Bolonia, 1640. En las *Exercitaciones* (pp. 243-244) nos dice: «Cum enim praecipue fusum parabolicum animo circumvoluerem, animadverti illius mensuram haberi posse, si in proposito quocumque parallelogrammo ducto diametro, sumptoque pro regula quolibet illius latere, patefieret ratio omnium quadrato-quadratorum parallelogrammi ad omnia quadrato-quadrata cuiuslibet factorum a diametro triangulorum. Quarens ergo huiusmodi proportionem eam quintuplam esse tandem cognoui. Recolens autem ex mea Geometria lib. 2, prop. 19 omnes lineas dicti parallelogrammi esse duplas omnium linearum dicti trianguli, omnia quadrata ex prop. 24 esse tripla omnium quadratum eiusdem, ne hiatus mihi reliquetetur inter quadrata, et quadratoquadrata, animum applicui ad detependam quoque rationem omnium cuborum parallelogrammi ad omnes cubos dicti trianguli, eamque quadruplam adinueni. Ita ut denique non sine magna admiratione comprehenderim omnes lineas esse duplas, et omnia quadrata esse tripla, omnes cubos esse quadrupla, etc. ex quibus aperiebam omnes quadratocubos esse sextuplos, omnes cubocubos octuplos [Cavalieri o su editor, se equivoca al poner *octuplos* en vez de *septuplos*], et sic deinceps iuxta naturalem ordinem numerorum ab unitate deinceps expositorum».

[46] H. G. Zeuthen, *op. cit.*, p. 261.

primer momento, e incluso luego a la de todas las figuras semejantes (*omnes figurae similes*) [47], da lugar a múltiples y muy ingeniosas aplicaciones [48] que, sin embargo, no nos aportan, en un principio, nada nuevo. No pasa lo mismo en lo que se refiere a la utilización de las integraciones de elementos lineales, de la de los cuadrados, de la de los cubos, etc. En primer lugar, permite a Cavalieri dar una solución simple y fácil al problema de la determinación de la superficie y del volumen de la pirámide y del cono; en efecto, los elementos (indivisibles) de las superficies aumentan en proporción simple (aritmética), y los de los volúmenes, en proporción doble (geométrica) a su distancia del vértice. De ello se deduce que la superficie será igual a la mitad, y el volumen al tercio, de los del paralelepípedo (cilindro) correspondiente [49].

Pero aún me parece más interesante la utilización de las integraciones en cuestión para la solución de problemas de planos. Así, la del conjunto de la progresión de los cuadrados permite efectuar a Cavalieri, de una vez y de forma extremadamente elegante, la cuadratura de la parábola clásica [50] (fig. 6).

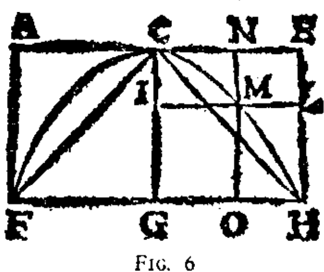


Fig. 6

[47] Cf. *Geometria continuorum*, lib. II, *theorema* XXII, *corolari*, pp. 153 siguientes.

[48] Cf. por ejemplo, lib. II, *th.* XXVIII que estudia la relación de «omnia quadrata parallelogrammi ad omnia quadrata trapezii»; *th. XXXIII* que demuestra que, dadas dos figuras planas (cualesquiera), la relación de los sólidos engendrados a partir de ellas será como la de «omnia quadrata earumdem figurarum»; lib. III, *th.* I que se ocupa de la relación de «omnia quadrata portionis circuli, vel Ellipsis, ad omnia quadrata parallelogrammi in eadem basi, et altitudine cum portione constitui»; *problema* I, *prop.* VIII que enseña como «a dato circulo, vel ellipsi portionem abscindere per lineam ad eiusdem axim, vel diametrum ordinatim applicatam, cuius omnia quadrata ad omnia trianguli in eadem basi, et altitudine cum ipsa portione habeant rationem datam», etc.

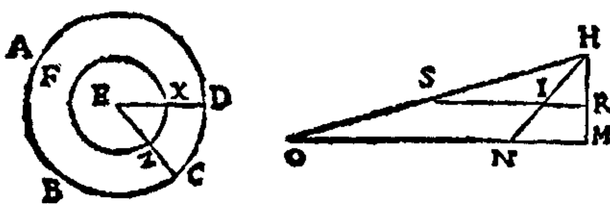
[49] *Ibid.*, libro II, *corolarii IV generalis, J. Sectio IX*, p. 185.

[50] *Ibid.*, libro IV, *theorema* I, *prop.* I, p. 285: «Si parallelogrammum, et triangulum fuerint in eadem basi, et circa eundem axim, vel diametrum cum parabola; parallelogrammum erit parabolae sesquialterum, triangulum autem erit eiusdem parabolae subsesquitertium».

En particular, basta encuadrar la parábola o, más exactamente, un segmento de ésta por un paralelogramo que tenga como base una recta que pase por su vértice, y darse cuenta de que las líneas trazadas entre esta base y la parábola (las líneas NM) son proporcionales a los cuadrados de sus distancias al diámetro de ésta (a CN), para concluir que el conjunto de estas líneas (*omnes lineae*) que forman la «trilínea» (*trilineum*) CEH está en relación de 1 a 3 con el conjunto de las líneas que forman el segmento del paralelogramo CMHG. De ahí se deduce que el área del segmento de la parábola es igual a 2/3 del paralelogramo correspondiente.

Un paso más y, modificando de una manera muy interesante su técnica, a saber, abandonando la exigencia de la coincidencia, en el plano de la figura estudiada, del plano móvil con el elemento indivisible que determina, Cavalieri extiende el concepto de indivisible a los elementos curvilíneos, como, por ejemplo, las circunferencias concéntricas del círculo, considerado en adelante como el conjunto de todas las circunferencias concéntricas (*omnes circumferentiae circuli*). Lo cual permite a su vez estudiar las figuras curvilíneas coordinando sus elementos (indivisibles y curvilíneos) no sólo con elementos análogos de figuras semejantes —como al establecer una correspondencia entre las «circunferencias» de dos círculos—, sino coordinando también los elementos homólogos de figuras desemejantes —como al establecer una correspondencia entre las circunferencias del círculo y las rectas del triángulo [51]— e incluso los elementos curvilíneos de estructura completamente

[51] Y así el libro VI, *th.* IV, *prop.* IV, p. 429: «Dati circuli, nec non similes sectores inter se sunt, ut omnes eorumdem circumferentiae», Cavalieri establece una correspondencia entre un círculo y un triángulo igual a éste: «...manifestum erit praedictam circumferentiam aequari praedictae parallelae lateribus HO, HM interceptae, et unicuique circumferentiae in circulo ABCD, sic descriptae respondere suam parallelam in triangulo HOM cum sint rectae HM, MD aequales; igitur concludemus omnes circumferentias circuli, DABC, aequari omnibus lineis trianguli HOM», etc. El teorema V pone en relación conjuntos de circunferencias: «Sectores inter se comparati... habent eandem rationem quam omnes ipsarum circumferentiae ad omnes illarum circumferentiae».



diferente. Así es como, mediante un razonamiento atrevido y sutil a la vez, Cavalieri llega a igualar la espiral arquimedea con la parábola clásica [52] (fig. 7). La construcción de Cavalieri es fácilmente advertible, equivale a un «desenvolvimiento» o un «desarrollo» de la curva [53].

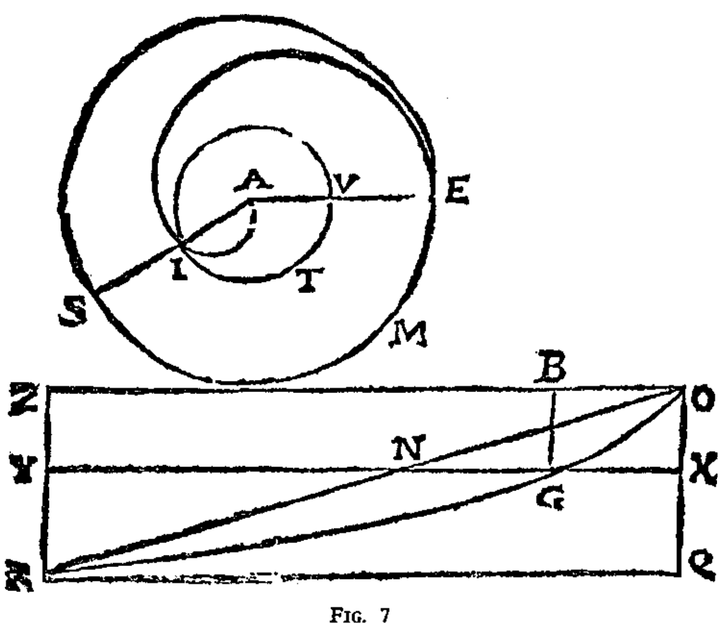
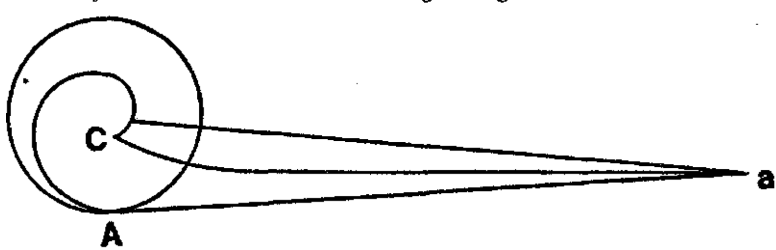


FIG. 7

[52] Libro VI, *th.* IX, p. 437: «Spatium comprehensum a spirali ex prima revolutione orta, et prima linea, quae initium est revolutionis, est tertia pars primi circuli».

[53] J. F. Montucla, *Histoire des matématiques*, p. 41: «Imagínese un círculo dentro del cual se describe una espiral y desarróllese ese círculo en un triángulo CAa, cuya base es la circunferencia y cuya altura es el radio que corta a la espiral en el centro. Si todas las circunferencias medias se desarrollan de modo semejante en rectas paralelas a la base Aa, la mismo curva espiral se encontrará transformada en un arco parabólico cuyo extremo será C...» Cf. la figura siguiente:



La concepción de los indivisibles como elementos correspondientes a las figuras estudiadas, triunfa en lo que Cavalieri llama el «segundo» método de los indivisibles, a cuya exposición consagra el libro VII de la *Geometria continuorum*.

En el prefacio a este VII libro, Cavalieri nos explica que deja a los lectores la tarea de juzgar si el método de los indivisibles desarrollado en los anteriores seis libros es tan indudablemente cierto como conviene a la dignidad de las matemáticas; Cavalieri lo cree así, por supuesto, pero se da cuenta de que las nociones fundamentales de su método, «todas las líneas» y «todos los planos», hacen dudar a sus contemporáneos y les parecen «más oscuras que las tinieblas cimerias». Ahora bien, aunque no sea así, dado especialmente que los indivisibles no sirven de ninguna manera para componer el continuo, no por ello es menos verdad que esta manera de expresarse es considerada a la vez por filósofos y geómetras como demasiado oscura y «más dura» de lo que debiera ser[54].

[54] *Geometria continuorum*, 1, VII, p. 482. *In quo quaecumque in antecedentibus Libris methodo indivisibilium demonstrata fuere, alia ratione, ab eadem independente, breviter ostenduntur. Praefatio*: «Geometriae in sex prioribus Libris, per eam quam indivisibilium methodum, non incongrue appellamus, hactenus promotae, talis fuit, qualis hucusque videri potuit structura, nec non talia, qualia iacta sunt fundamenta. Illa quidem adeo firma, atque inconcussa, esse docuit, ut velut adamantina summorum ingeniorum tamquam arietum ictibus pulsata ne minimum quidem nutantia agnoscerentur. Hoc enim Mathematicarum dignitati, as summae certitudini, quam prae omnibus alijs humanis scientiis, nemine philosophorum reclamante, ipse sibi vindicarunt, maxime conuenire manifestum est. An id ego sufficienter praestiterim aliorum iudicio relinquam, unicuique enim haec perlegenti ex animi sui sententia iudicare licebit. Haud quidem me latet circa continui compositionem, nec non circa infinitum, plurima a philosophis disputari quae meis principiis obesse non paucis fortasse videbuntur, propterea nempe haesitantes quod omnium linearum, seu omnium planorum conceptus cimerijs veluti obscurior tenebris inaprehensibilis videatur: Vel quod in continui ex indivisibilibus compositionem mea sententia prolabatur: vel tandem quod unum infinitum alio maius dari posse pro firmissimo Geometriae sternere auserim fundamento, circa quae millibus qui passim in scholis circumferentur argumentis, ne Achillea quidem arma resistere posse existimantur. His tamen ego per ea, quae lib. 2, prop. I, ac illius scholio praecipue declarata, ac demonstrata sunt, satisfieri posse diiudicavi: quoad conceptum enim omnium linearum, seu omnium planorum informandum, facile hoc per negationem nos consequi posse existimaui, ita nemper ut nulla linearum, seu planorum excludi intelligatur. Quoad continui autem compositionem, manifestum est ex praeostensis ad ipsum ex indivisibilibus componendum non minime cogi, solum enim sequi continua indivisibilium proportionem, et e converso, probare intentum fuit, quod quidem cum utraque positione stare potest. Tandem vero dicta indivisibilium aggregata non ita pertractauimus ut infinitatis rationem propter infinitas lineas, seu plana subire videntur, sed quatenus fini-

En realidad, los conceptos en cuestión, a saber, «todas las líneas» y «todos los planos», no son en absoluto indispensables. Podemos pasarnos muy bien sin ese término medio y, en lugar de considerar los conjuntos formados por *todas* las líneas o *todos* los planos de una figura y de un cuerpo para llegar luego a la figura o al cuerpo mismo, se puede acortar el razonamiento y llegar directamente de las líneas o los planos a las figuras y a los cuerpos [55]. En efecto, basta cortar estas figuras

tatis quandam conditionem, et naturam fortiuntur, ut propterea et augeri et diminui possint, ut ibidem ostensum fuit, is ipsa prout diffinita sunt accipiantur. Sed his nihilominus forte obstrepent Philosophi, reclamabuntque Geometrae, qui purissimos veritatis latices ex clarissimis haurire fontibus consuescunt sic obijcientes. Hic dicendi modus adhuc videtur suboscurus, durior quam par est euadit hic omnium linearum seu omnium planorum conceptus, quapropter hunc tuae Geometriae seu Gordium nodum aut auferas, aut saltem frangas, nisi dissoluas. Fregissem quidem fateor, o Geometrae, vel omnino a prioribus libris sustulissem, nisi indignum facinus mihi visum fuisset nova haec Geometria veluti mysteria sapientissimis abscondere viris; ut, his fundamentis, quibus tot conclusionum ab alijs quoque ostensarum veritates adeo mire concordant, alicuius industria melius forte concinnatis, huiusce nodi exoptatam illis dissolutionem aliquando praestare possint. Interim qualiscunque mea fuerit illius tentata dissolutio, ipsum tamen in praesenti libro, nouis alijs denuo stratis fundamentis, quibus ea omnis, quae indivisibilium methodo in antecedentibus Libris iam ostensa sunt, alia ratione ab infinitatis exempta conceptu comprobantur, omnino e medio tollendum esse censui. Hoc vero praecipue a nobis factum est, tum ut apud eos, quibus nostra haec indivisibilium methodus minus probabitur, non indigne nostram hanc de continuis doctrinam Geometriae titulo insignari claruis elucescat; tum etiam ut appareat, quod non levi ratione ducti, cum possemus cuncta per indivisibilium methodum praeostensa, tantum per huius Libri fundamenta demonstrare, illam quoque methodum tanquam nouam et consideratione dignam, fuimus prosequuti. Nodum vero ipsum, cui negotium facesseret, non inaniter in praecedentibus Libris relictum esse, quinimo nos ipsum alicui Alexandro aut frangendem, aut iuxta scrupolisissimi cuiusque Geometrae vota dissoluendum, merito reseruasse, non inepte quispiam iudicavit».

[55] M. Cantor, *op. cit.*, p. 842, caracteriza la diferencia entre los dos métodos del siguiente modo: «Es gibt zwei Methoden der Indivisibilien welche zwar beide non jenen Geraden und Ebenen Gebrauch machen, aber in verschiedener Weise; die erste Methode benutze sie vereinigt, *collective,* die zweite einzeln, *distributive.* Innerhalb zweier miteinander zu vergleichender Figuren muss die Entfernung der als unter einander gleich nachgewiesenen Geraden in der einen wie in der anderen Figur dieselbe sein, aber davon dass die Indivisibilien einer Figur der Bedingung gleicher gegenseitiger Entfernung unterworfen wären, ist keine Rede. Die Geraden sind, in Uebereinstimmung mit dem im ersten Werke Vorgetragenen, auch Durchschnit tsilinien der gegebenen ebenen Figur mit einer im Flusse begreiffenen Ebene, *planum motum sive fluens*». Una vez más, no hay nada que objetar a Cantor... excepto el desconocimiento de la importancia del segundo método para la comprensión de la obra de Cavalieri y la falta de comprensión del sentido de esta obra.

(o estos cuerpos) con redes semejantes de líneas (o planos) paralelos (equidistantes) en un número indeterminado. Las relaciones entre los elementos (indivisibles) así determinados de una figura (cuerpo) con los elementos correspondientes de la otra permiten llegar —exactamente como se hace según el primer método— a los de las figuras mismas[56].

El primer teorema del libro VII (que aun hoy día lleva el nombre de Cavalieri) proclama, pues, que «las figuras planas, colocadas entre dos paralelas en las que cualesquiera líneas, paralelas a las primeras, cortan segmentos iguales, son iguales». Y sucede lo mismo con los cuerpos, excepto que, en lugar de líneas, se utilizan planos[57].

[56] *Op. cit.*, libro VII, *th.* I, *prop.* I, p. 484: «Figurae planae quaecunque in eisdem parallelis constitutae, in quibus ductis quibuscunque eisdem parallelis aequidistantibus rectis lineis, conceptae cuiuscumque rectae lineae portiones sunt aequales, etiam inter se aequales erunt: Ex figurae solidae quaecunque in eisdem planis parallelis constitutae, in quibus, ductis quibuscunque planis parallelis aequidistantibus, conceptae cuiuscunque sic ducti plan iin ipsis solidis figurae planae sunaequales, pariter inter se aequales erunt. Dicantur autem figurae aequaliter analogae tum planae, tum ipsae solidae inter se comparatae, ac etiam juxta regulas lineas, seu plana parallela, in quibus esse supponuntur, cum hoc fuerit opus explicare». Cf. *Exercitationes Geometricae,* pp. 3 ss.

[57] *Exercitationes Geometricae,* I. *De priori methodo indivisibilium,* § VI, p. 4: «Sint enim ex. gr. duae quaecunque figurae planae ABDC, EFGH, in ijsdem parallelis IK, LM, constitutae, eorum autem altera, ut LM, sumatur tanquam regula parallelorum in eisdem figuris numero indefinita ducibilium, quorum aliquae in figura, ABCD sint, NO, BD, PQ, etc. et in figura EFGH, ipsae, RS, FH, TV, etc. Nunc ergo dipliciter possumus comparare lineas figurae ABCD, ad lineas figurae EFGS, nempe vel collective hoc est comparando aggregatum ad aggregatum vel distributive sc. comparando singillatim quamlibet rectam figurae, ABCD, cuilibet rectae figurae, EFGH, sibi in directum existenti. Iuxta priorem rationem procedit prior methodus, comparat enim ad invicem aggregata omnium linearum planarum figurarum, et aggregata omnium planorum solidorum, quotcunque illa sint. At iuxta priorem se habet posterior methodus comparat enim singulas lineas singulis lineis, et singula plana singulis planis, ijsdem in directum constitutis. Utraque autem tradit suam regulam generalem ad figurarum mensuram comparandam, quarum prior talem profert». § VII, p. 5: «Si in duabus quibuscunque figuris planis, etiam non in eadem altitudine existentibus omnes linee unius figurae, cuidam signatae regulae parallelae mente descriptibiles, et collectine sumptae, fuerint aequales omnibus lineis alterius figurae, cuicunque signate regulis parallelis, mente descriptibilibus, et collective sumptis; etiam ipsae figurae erunt aequales et e contra. Ut in schemate nu. 5, si sint aequales, RS, NO, ut et FH, BD, nec non TV, PQ et reliquae, etc. collective sumptae; etiam ipsae figurae ABCD, EFGH erint aequales. Imno universaliter quamcunque rationem habuerint omnes lineae ad omnes lineas, eandem habebunt, et ipsae planae figurae. Similiter in solidis, si omnia plana unius fuerint aequalia omnibus planis alterius, sumptis ijsdem quibuscunque

A todas luces, es injusto, como lo ha hecho la historia y a menudo hacen los historiadores, restringir la aplicación del segundo método a los casos de igualdad. Es evidente —y Cavalieri lo dice *expressis verbis*— que tiene una repercusión tan general como el primero y que todo lo que pueda ser, o haya sido, demostrado por el primero, lo puede ser por el segundo. En realidad, el libro VII de la *Geometria continuorum* nos presenta toda una serie de estas demostraciones paralelas, incluida la demostración de las proposiciones referentes a la parábola.

Me parece que el «segundo» método de los indivisibles confirma la interpretación que he tratado de hacer del pensamiento de Cavalieri: la operación fundamental de este método consiste, en efecto, *explícitamente*, en el establecimiento de una correspondencia unívoca y recíproca entre los elementos (indivisibles) homólogos de los objetos estudiados [58].

Un estudio exhaustivo de la obra de Cavalieri tendría que proceder ahora al análisis de la aplicación de su método o, más exactamente, de sus métodos, a los problemas de la geometría en el espacio, en particular a la determinación de las superficies y de los volúmenes de los cuerpos en revolución, así como a su polémica, infinitamente instructiva, contra Guldin. Yo no

regulis, etiam ipsa solida erunt aequalia: et si omnia plana habuerint quamcunque rationem inter se, eandem habebunt et supponantur figurae solidae, et fuerint aequalia plana, RS, NO; FH, BD; TV, PQ et reliqua, etc., etiam ipsae figurae ABCD, EFGH, erunt aequales: vel quamcunque illa collective sumpta habuerint rationem, eandem et ipsae figurae solidae retinebunt».

[58] *Ibid.*, § VIII, p. 5: «Posterior methodus paulo strictiorem affert, et est huiusmodi. Si in duabus quibuscunque figuris planis in ijsdem parallellis constitutis, quorum altera sit regula singulae lineae cum singulis lineis in directum existentibus, communique regulae parallelis, collatae, fuerint aequales; etiam ipsae figurae erunt aequales. Immo universaliter quamcunque rationem communiter habuerint dictae lineae singillatim sumptae, eandem habebunt et ipsae figurae. Sic in solidis in plana unius communi regulae aequidistantia fuerunt aequalia planis alterius eidem regulae aequidistantibus, etiam ipsa solida erunt aequalia: et quamcunque rationem communiter habebuerint inter se, eandem habebunt et ipsa solida, quae tamen supponimus esse in ijsdem oppositis tangentibus planis, quorum alterum sit eorum communis regula». § IX: «Ex his duabus unica regula generalissima construi potest, quae erit totius dictae Geometriae compendium, nempe huiusmodi. *Figurae tam planae quam solidae, sunt in ratione omnium suorum indivisibilium collective, et* (si in ijsdem reperiatur una quaedam communis ratio) *distributive ad invicem comparatorum*».

puedo hacerlo aquí. Sin embargo, espero haber dicho lo suficiente para mostrar toda la originalidad y toda la profundidad del pensamiento del gran geómetra italiano, todo el interés de su esfuerzo por evitar los razonamientos infinitesimales (el infinitamente pequeño actual, el paso al límite) sustituyéndolos por razonamientos sobre lo finito.

En los cursos de cálculo diferencial e integral de mi juventud existía la costumbre de presentarnos la derivada de un cuerpo como una superficie, y la derivada de una superficie como una línea; así, pues, no creo deformar exageradamente el pensamiento de Cavalieri insinuando que sus «indivisibles» son especies de derivadas con cuya comparación pretende establecer las relaciones entre sus funciones primitivas, e incluso determinar esas funciones.

PASCAL COMO CIENTÍFICO *

Hacerse una idea precisa de la personalidad y la obra científica de Pascal es algo difícil, quizá incluso imposible. En efecto, buena parte de esta obra está perdida, sobre todo el gran *Tratado de las cónicas* del que habla Mersenne en sus *Cogitata physico-matematica* y cuyas cualidades pondera a Huygens [1]; no tenemos tampoco el *Tratado del vacío,* del que nos queda sólo el prefacio —con algunos fragmentos [2]—, ni el *Tratado de mecánica,* del que no nos queda nada.

En cuanto a la personalidad de Pascal, ha sido tan deformada por la hagiografía pascaliana que es extremadamente difícil tratarla sin prejuicios; sin embargo, es lo que voy a intentar hacer hoy, a riesgo de pasar por antipascaliano.

No obstante, está claro que no podré darles más que una apreciación muy rápida, muy breve y muy superficial. Efectivamente, si la obra que existe de Pascal como físico está muy recopilada y consiste en suma en algunos experimentos, entre ellos el célebre experimento del Puy de Dôme, y en los pe-

* Texto de una ponencia presentada en noviembre de 1954 en un coloquio sobre Blaise Pascal. Tomado de *Blaise Pascal, l'homme et l'oeuvre,* París, Les Éditions de Minuit, 1956, pp. 260-285 («Cahiers de Royaumont, Philosophie», núm. 1).

[1] Cf. R. P. M. Mersenne, *Cogitata physico-mathematica,* París, 1644, prefacio: *Unica propositione universalissima, 400 corollariis armata, integrum Apollonium complexus est;* carta a Constantin Huygens, marzo de 1648, *Obras completas de Huygens,* vol. I, p. 83: «Si vuestro Arquímedes viene con vos, le mostraremos uno de los mejores tratados de geometría que jamás haya visto, que acaba de ser terminado por el joven Pascal.» En su *Adresse à l'Académie Parisienne* (1654) Pascal declara: «Conicorum opus completum et conica Apollonii et alia innumera unica fere propositione amplectens; quod quidem nondum sexdecimum aetatis annum assecutus excogitavi, et deinde in ordinem congessi».

[2] Este *Traité du vide* que nos anuncia las *Expériencies nouvelles touchant le vide* (en 1647) parece haber sido acabado sólo en 1651. Efectivamente, en su carta a M. de Ribeyre del 12 de julio de 1651, Pascal dice que está acabando un tratado que explicará «cuál es la verdadera causa de todos los efectos que se han atribuido al horror al vacío».

queños tratados consagrados a la elaboración o, más exactamente, a la sistematización de la hidrostática, la obra del matemático [3], incluso reducida a lo que nos queda de ella, es bastante extensa y sobre todo bastante variada, puesto que consiste principalmente en el estudio y solución de problemas concretos. Su análisis detallado sería, pues, largo y bastante difícil, por lo menos para nosotros. Lo sería, por supuesto, mucho menos para los contemporáneos de Pascal, porque los contemporáneos de Pascal, como el propio Pascal, poseían sobre nosotros una ventaja no desdeñable. Conocían la geometría como no la conocemos hoy. Sin duda, sabemos, en cambio, muchas otras cosas, cosas quizá más importantes, más fecundas, más valiosas, como, por ejemplo, el álgebra y el cálculo infinitesimal que ellos estaban precisamente elaborando. Y por esto tenemos sobre ellos la superioridad de poder resolver fácilmente problemas que a ellos les costaban gran trabajo y esfuerzo. Desgraciadamente, esta superioridad no nos sirve de nada —sino al contrario— cuando se trata de hacer historia y comprender exactamente su pensamiento. No somos capaces, como ellos, de razonar «al modo de los antiguos», es decir, de los griegos, ni siquiera «al modo de los modernos», es decir, *grosso modo*, al modo de Cavalieri o Fermat: no comprendemos, por ejemplo, por qué en 1658 Pascal juzga necesario demostrar «al modo de los antiguos» la igualdad de la parábola y de la espiral, proposición que Pascal atribuye a Roberval, aunque hubiera sido ya establecida desde hacía algún tiempo, de un modo bastante laborioso, es cierto, por Cavalieri y muy elegantemente por Torricelli, a quien Pascal no menciona. A no ser que sea justamente —*sit venia verbo*— para disminuir el prestigio de Torricelli, a quien Roberval, maestro y amigo de Pascal, tenía horror, y para demostrar una vez más la legitimidad de los métodos de la geometría de los indivisibles [4], de la que, por otro lado, se sirve.

[3] La obra científica de Pascal es hoy fácilmente accesible en la segunda edición de las *Oeuvres complètes* de Pascal, Bibliothèque de la Pléiade, París, 1954.

[4] La expresión «geometría de los indivisibles» es equívoca. El título de la obra de Bonaventura Cavalieri es en efecto, *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota*, Bolonia, 1635, lo que quiere decir: *Geometría de los continuos, tratada... por el medio de los indivisibles*, y no *geometría de los indivisibles*. Pero como la expresión es empleada por Pascal, yo la emplearé igualmente. Cf. mi artículo «Bonaventura Cavalieri y la geometría de los continuos», en *Eventail de l'histoire vivante, Hommage à Lucien Febvre*, vol. I, pp. 319 ss., París, 1953 y *supra*, pp. 320-349.

Efectivamente, para Pascal —como para Cavalieri y Torricelli— la única geometría verdaderamente auténtica y bella es la geometría de los griegos. Esto ya no es así para nosotros. Por eso, cuando emprendemos el estudio de los geómetras del siglo XVII, Pascal entre otros, ¿qué hacemos? Traducimos los razonamientos pascalianos a nuestro lenguaje, escribimos algunas fórmulas algebraicas, una integral o dos —operación a la que Pascal se presta particularmente bien, tal como lo ha señalado Nicolas Bourbaki[5], quien une a su genio matemático un conocimiento muy profundo de la historia de esta ciencia— y tenemos la impresión de entender. Realmente, no hay nada de eso, pues al traducir a Pascal a fórmulas deformamos e incluso desvirtuamos profundamente su pensamiento, pensamiento que se caracteriza esencialmente por el *rechazo* de las fórmulas; rechazo que Pascal pagó bastante caro, pues le impidió hacer dos grandes descubrimientos, el de la fórmula del binomio, que dejó a Newton, y el de la diferencial, que dejó a Leibniz, descubrimientos que éstos hicieron después de él y sin duda gracias a él.

¿Cómo explicar esta repulsa a las fórmulas? En el fondo, descansa, sin duda, en la estructura misma del genio pascaliano. Los historiadores de las matemáticas nos dicen, efectivamente, que hay, *grosso modo,* dos tipos de espíritu matemático, a saber: los geómetras y los algebristas; por un lado, los que tienen el don de ver en el espacio «poniendo en tensión su imaginación», como dice Leibniz, los que son capaces de trazar en él una multitud de líneas y ver, sin confundirlas, sus analogías y relaciones[6], y por otra parte los que, como Descartes, encuentran este esfuerzo de imaginación, todo esfuerzo de imaginación, fatigoso, y prefieren la pureza diáfana de las fórmulas algebraicas. Para los primeros, todo problema se resuelve por una construcción; para los segundos, por un sistema de ecuaciones. Desargues y Pascal pertenecen al primer tipo; Descartes y Leibniz, al segundo. Para los primeros, una sección cónica es un acontecimiento en el espacio y una ecuación no es más que su representación abstracta y lejana; para los segun-

[5] Cf. Nicolas Bourbaki, *Éléments de mathématique,* IX, p. 148, n. XX: «Gracias al prestigio de una lengua incomparable, Pascal llega a crear la ilusión de la perfecta claridad», París, 1949.

[6] El P. Mersenne, en la carta a Constantin Huygens, citada en la nota 1, hablando de la solución obtenida por Pascal «del punto de Pappus *ad 3, 4 lineas,* que se pretende aquí no haber sido resuelto por Des Cartes en toda su extensión», dice que «fueron precisas líneas rojas, verdes y negras, etc., para distinguir la gran cantidad de consideraciones...».

dos, la esencia de una curva es justamente la ecuación y su figura espacial no es más que su proyección completamente secundaria y a veces incluso inútil.

Léon Brunschvicg ha escrito unas páginas magistrales sobre la oposición de Descartes-algebrista con Pascal-geómetra, la oposición de Descartes, el hombre del *método*, método omnivalente que debería aplicarse a todo y en todo, con Pascal, el hombre de los *métodos*, métodos particulares y especiales, propios de cada caso particular y concreto; todo el mundo las conoce, y, por tanto, no voy a insistir en ello[7].

La actitud pascaliana puede parecernos extraña; pero es probablemente más frecuente de lo que se cree. Así, Paul Montel viene a recordarnos[8] muy oportunamente una frase de Henri Poincaré, que escribió (a propósito de Descartes): «Un método que reduce el descubrimiento a la aplicación de reglas uniformes, que de un hombre paciente hace un gran geómetra, no es verdaderamente creador.»

Yo querría añadir que la actitud pascaliana, la del geómetra propiamente dicho, es en el siglo XVII mucho más normal y mucho más común que la de Descartes[9]; ésta última representa, con relación a la tradición, una innovación mucho más profunda y una ruptura mucho más radical que las innovaciones de Cavalieri o incluso la de Desargues. Para el siglo XVII, lo que es difícil, desacostumbrado, incomprensible, es Descartes, el álgebra, la geometría algebraica.

En cuanto a Pascal, su geometrismo innato fue reforzado ciertamente por la educación matemática que recibió, y su antialgebrismo, por su hostilidad constante hacia Descartes.

De la educación matemática de Pascal no sabemos, a decir verdad, gran cosa. El relato hagiográfico de la Sra. Périer no se debe tomar en serio. Del de Tallemant des Réaux se puede aceptar la indicación de que a la edad de doce años Pascal era capaz de leer a Euclides, por gusto, y de dominar rápidamente sus seis primeros libros. Esto es bastante bonito y suficientemente inusitado para que no se necesite ponderarlo más.

Podemos admitir, sin temor a equivocarnos, que Pascal no se detuvo en Euclides y que desde su juventud adquirió este

[7] Cf. Léon Brunschvicg, *Blaise Pascal*, pp. 127 ss., 158, París, 1953.

[8] Cf. Paul Montel, *Pascal mathématicien*, Palais de la Découverte, París, 1950.

[9] Cf. Nicolas Bourbaki, *op. cit.*, p. 153.

profundo conocimiento de la geometría griega, de Arquímedes, Apolonio, Pappus, que se manifiesta en su obra, precisamente en su demostración de la igualdad de la parábola y de la espiral, lo cual es tanto más probable cuanto que su padre, Etienne Pascal, era un buen conocedor de esta geometría. De la geometría griega pasó a Desargues.

Me inclino a pensar que la influencia de Desargues se ejerció a través del trato personal. No creo efectivamente que nadie, ni siquiera un genio como Pascal, fuera capaz de comprender y asimilar las ideas y métodos del gran geómetra de Lyon por la simple lectura del *Proyecto borrador de un acceso a los acontecimientos de los encuentros del cono con un plano* —que en el siglo XVII fue con justicia denominado *Lecciones de tinieblas*— y sobre todo de hacerlo suficientemente deprisa como para poder, en 1640, presentar a la Académie Parisienne (la del P. Mersenne) el *Ensayo para las cónicas*, en el que la inspiración arguesiana es no sólo patente, sino incluso abiertamente afirmada por el propio Pascal [10]. Creo, en consecuencia, que podemos ver en Pascal un verdadero alumno de Desargues. Lo que, además, es un honor tanto para uno como para otro.

Pero volvamos al *Ensayo*. Al lado de cosas puramente arguesianas, encontramos allí, en los lemas I y III, el equivalente de la famosa «proposición de Pascal», según la cual los puntos de intersección de los lados opuestos de un hexágono inscrito en una cónica están alineados en una recta. Es, sin duda, ésa la proposición única a partir de la cual Pascal, en su desaparecido *Tratado* —es por lo menos lo que nos dice Mersenne, sin citar, no obstante, esta proposición— va a desarrollar una teoría completa de estas líneas.

El hexágono inscrito será entonces denominado *hexagrama místico* y Pascal afirmará que a cada acción cónica corresponde un «hexagrama místico» determinado, como, inversamente, a cada hexagrama le corresponde una sección cónica determinada.

Esto es un bellísimo descubrimiento que nos ha sido conservado por un puro azar, a saber, por una copia de Leibniz que en 1675 tuvo los trabajos de Pascal entre sus manos. Hizo su inventario, copió algunas hojas y, para nuestra desgracia, devolvió los originales a su propietario legítimo, Étienne Périer. Estos papeles contenían el conjunto de la obra geométrica de

[10] Cf. R. Taton, «L'Essay pour les coniques, de Pascal», *Revue d'histoire des Sciences*, t. VIII, fasc. 1, 1955, pp. 1-18.

Pascal, ya enunciada en el *Ensayo para las cónicas* y de nuevo en el *Memorial a la Academia Parisiense* de 1654[11].

Este conjunto de trabajos no es, sin duda, el *Tratado de las cónicas* del que había hablado el R. P. Mersenne, pero es en gran medida su equivalente. En opinión de Leibniz, confirmada además por las pocas páginas del *Tratado sobre la generación de las secciones cónicas (Generatio Conisectionum)* que nos ha conservado[12], son tratados de inspiración arguesiana, y Leibniz, que aconseja su impresión, insiste en una publicación inmediata: efectivamente, escribe, ha visto aparecer obras —sin duda, las de La Hire— que llevan el sello de una inspiración idéntica y que podrían privar a la obra de Pascal de su novedad.

El juicio de Leibniz es, pues, formal: Pascal es un discípulo y un continuador de Desargues. Y, sin embargo, los historiadores de Pascal olvidan habitualmente esta relación entre los dos geómetras, o nos la presentan de un modo completamente incorrecto. Así, Emile Picard (al que cita con complacencia Jacques Chevalier en su edición de las *Oeuvres complètes*[13] de Pascal) nos presenta a Pascal como el inventor de los métodos proyectivos «que Poncelet y Chasles debían seguir con tanta brillantez en el siglo pasado»; así, Pierre Humbert, en su última obra consagrada al Pascal científico[14], nos dice que Pascal será el continuador de Desargues, pero sumando su genio. Creo, por mi parte, que habría que decir más bien: Pascal es Desargues más claridad y sistematización —en efecto, Pascal es claro mientras que Desargues no lo es—, pero el gran genio creador, el inventor de una forma nueva de la geometría, es Desargues y no Pascal.

La segunda época de producción matemática de Pascal se sitúa hacia los años 1652-1654, y se agrupa en torno a los trabajos sobre el triángulo aritmético. Es entonces cuando Pascal plantea —conjuntamente con Fermat e independientemente de Galileo, que les precedió en este camino— las bases del cálculo de probabilidades. Parece haber abandonado la geometría, por algún tiempo al menos.

[11] Cf. Carta de Leibniz a Étienne Périer, del 30 de agosto de 1676, en Pascal, *Oeuvres complètes*, Bibliothèque de la Pléiade, 2.ª ed., pp. 63 ss.: *Addresse a l'Académie Parisienne*, ibid., pp. 71 ss.

[12] *Ibid.*, pp. 66 ss.

[13] *Ibid.*, p. 58.

[14] Cf. Pierre Humbert, *Cet effrayant génie, L'Oeuvre scientifique de Blaise Pascal*, pp. 19, 34, 47, París, 1947.

La temática del triángulo aritmético, cuya invención se atribuye a veces a Pascal, es muy antigua. Según Moritz Cantor [15], nos viene de los árabes. Encontramos una forma bastante análoga en Michael Stifel en 1543, en Tartaglia en 1556, y más cerca de Pascal en Stevin en 1625 y en Hérigone en 1632 [16].

El mérito de Pascal, y es un gran mérito, consiste —paradójicamente— en haber hecho girar el triángulo alrededor de su vértice y haberlo transformado así, por lo menos en principio, en un cuadrado infinito, cuadrado subdividido por líneas paralelas, horizontales y verticales, en un número infinito de «celdillas». En cuanto a los triángulos propiamente dichos, estarán constituidos por diagonales que unen los puntos correspondientes de las susodichas subdivisiones; estas diagonales formarán las «bases» de los triángulos sucesivos.

En el cuadrado así constituido, las celdillas de la primera hilera o «fila» no contienen más que el número 1; las de la segunda, los números simples; las de la tercera, los números triangulares; las de la cuarta, los números piramidales, y así sucesivamente. En manos de Pascal, que descubre toda una serie de relaciones extremadamente interesantes y curiosas entre los números inscritos en las celdillas (según que éstas ocupen tal o cual lugar en las «bases» y «filas» «paralelas» [horizontales] y «perpendiculares» [verticales] del cuadro), el «triángulo aritmético» se convierte en instrumento ingenioso y poderoso para la solución de problemas de combinaciones y probabilidades. Entre otros, Pascal nos demuestra (después de Hérigone, sin embargo, e incluso después de Tartaglia) que las «bases» nos dan los coeficientes de las potencias enteras del binomio.

Ya no había más que dar un paso: buscar la estructura y la unión interna de los números que forman las bases y determinar su fórmula general. Pero Pascal no lo dio. Su antialgebraísmo, su aversión por la fórmula, de la que ya he hablado, le impiden hacer este gran descubrimiento. No encuentra porque no busca [17].

En cambio, habiéndolo buscado, encontró —después de otros muchos, sin duda— la fórmula general, o más exactamen-

[15] Cf. Moritz Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, t. II, pp. 434, 445, Leipzig, 1900.

[16] Cf. Pierre Boutroux, Introducción al *Traité du triangle arithmétique* en *Oeuvres de Blaise Pascal*, ed. L. Brunschvicg y P. Boutroux, t. III, pp. 438 ss., París, 1908.

[17] No busca tampoco, como lo hará Wallis en su *Arithmetica infinitorum*, la forma de utilizar el «triángulo» para cálculos geométricos.

te la *regla* que permite determinar el número de combinaciones de *m* objetos tomados de *p* en *p* [18].

Mencionemos por fin, como perteneciente al mismo período que el *Tratado del triángulo aritmético* —o quizá un poco anterior a éste—, el interesantísimo pero breve tratado sobre la *Suma de las potencias numéricas* [19], en el que, comparando según Fermat y Roberval la suma de potencias de una progresión aritmética con la «suma» de las líneas o figuras planas tal como la practicaba la geometría de los indivisibles, Pascal traslada directamente los resultados obtenidos en el ámbito del discontinuo aritmético al del continuo geométrico.

Por eso escribe: «Por poco versado que se esté en la doctrina de los invisibles, se reconocerá fácilmente lo útil que es esta concepción para la determinación de las áreas curvilíneas. Efectivamente, las parábolas de todo tipo se elevan al cuadrado inmediatamente y una infinidad de otras curvas se miden fácilmente. Si, por tanto, se quisiera aplicar a la cantidad continua lo que hemos encontrado para los números por este método, se podrán establecer las reglas siguientes...» Estas «reglas», que no cito, desembocan en la regla general:

«La suma de las mismas potencias es a la potencia inmediatamente superior de la mayor de ellas lo que la unidad es al exponente de la potencia superior» [20].

Además de esta comparación ingeniosa y fecunda (aunque mucho menos original de lo que se pretende habitualmente) entre dos órdenes de magnitudes —la aritmética y la geométrica— que la tradición clásica se obstinaba en tener separadas, se encuentra en este breve tratado el famoso y célebre pasaje sobre las relaciones entre diferentes órdenes de magnitudes, en el que se quiso a veces reconocer la más profunda intuición del pensamiento pascaliano subyacente a su pensamiento matemático tanto como a su pensamiento filosófico e incluso teológico. Presentamos este pasaje que forma la conclusión del *Tratado sobre la suma de potencias numéricas* y que sigue inmediatamente a la regla de integración que acabo de citar [21]:

No me detendré en otros casos, porque no es éste el lugar de estudiarlos, bastará haber enunciado las reglas que preceden. Se

[18] *Ibid.*, pp. 442 ss.
[19] *Potestatum numericarum summa, Oeuvres complètes*, pp. 166-171.
[20] *Ibid.*, pp. 170, 171.
[21] *Ibid.*, p. 171.

descubrirán las otras sin dificultad apoyándose sobre el siguiente principio: *en las magnitudes continuas, el número que se quiera de las magnitudes del género que sea, añadido a una magnitud de un género superior, no le añade nada.* Así, los puntos no añaden nada a las líneas, las líneas a las superficies, las superficies a los sólidos, o para hablar de números, como conviene en un tratado de aritmética, las raíces no añaden nada a los cuadrados, los cuadrados a los cubos y los cubos a los cuadrados-cuadrados, etc.; de modo que se deben despreciar por nulas las cantidades de orden inferior. He querido añadir estas sencillas observaciones a los que practican los indivisibles, a fin de hacer resaltar la ligazón, jamás admitida suficientemente, que la naturaleza, ávida de unidad, establece entre las cosas más lejanas en apariencia. Se muestra en este ejemplo en el que vemos cómo los cálculos de las dimensiones de las magnitudes continuas se relacionan con la suma de las potencias numéricas.

Pasaje admirable, sin duda; pero notarán que Pascal nos dice: «He querido añadir estas sencillas observaciones a los que practican los indivisibles», y de hecho, estas observaciones no son otra cosa que la formulación de algo bastante banal y conocidísimo de todos los matemáticos, practiquen o no los indivisibles. El hecho de que no se aumente una línea añadiendo un punto, como tampoco se aumenta un plano añadiendo una línea o un sólido añadiendo un plano, está implícito en los principios formales de la geometría [22] conocidos desde siempre y que no tienen nada de excitante para el geómetra a menos que se plantee el problema general del continuo [23]. En cuanto a la relación entre la suma de las potencias numéricas (de los números) y la de los indivisibles (de las magnitudes continuas), es algo sin duda mucho menos conocido y mucho más nuevo, pero es algo que forma la base misma de los trabajos de Fermat y de Roberval, cuya influencia en Pascal parece haber sustituido a la de Desargues. El talento de Pascal aparece una vez más en la ingeniosidad de sus descubrimientos, en la claridad de sus formulaciones, no en la invención de principios nuevos.

[22] La analogía entre las relaciones de los diversos órdenes de magnitudes y las que Pascal establece entre el orden de los cuerpos, el de los espíritus y el de la caridad no nos interesa aquí.

[23] En este caso no hay que tomar al pie de la letra el principio expresado por Pascal, puesto que sin duda quitando un punto a una línea e incluso a un espacio se le quita algo y se hace en él un hueco. Se podría muy bien transponer esta relación a la relación entre Dios y la criatura y atribuir a esta última, incapaz de añadir algo a la acción divina, la capacidad de preservar su integridad, o, al contrario, de hacer en ella un hueco constituido por un punto.

El genio matemático de Pascal brillará una última vez —pero con todo su esplendor— en el grupo de trabajos consagrados a la ruleta (cicloide). La historia de este retorno de Pascal, que a partir de su «noche de fuego» (23-XI-1654) se había apartado resueltamente del mundo —y de las ciencias— y había olvidado todo excepto Dios, es conocidísima: en 1657, nos cuenta Marguerite Périer [24], a Pascal, que sufría de un violento dolor de muelas, «se le ocurrió, para aliviarse, entregarse a algo que por su gran fuerza atrajera tanto los espíritus al cerebro que le apartara de pensar en su dolor. Para esto pensó en la proposición de la ruleta hecha antaño por el P. Mersenne que nadie había podido encontrar nunca y en la que él no se había detenido a pensar jamás. Pensó en ella tanto que encontró su solución y todas sus demostraciones. Esta entrega tan intensa alejó su dolor de muelas, y cuando dejó de pensar en ella después de haberla encontrado, se sintió curado de su dolor». Sin embargo, «no escribió nada y no hizo ningún caso de este descubrimiento, considerándolo vano e inútil, y no queriendo interrumpir en absoluto lo que podía dar de entrega a su obra sobre religión». Pascal sólo se decidió a redactar sus descubrimientos, y a hacer de ellos el tema de un concurso, a instancias del duque de Roannez, que le hizo observar que para combatir a los ateos y libertinos «era bueno enseñarles que se sabía más que todos ellos en lo que concierne a la geometría y en lo que está sujeto a demostración», y que si uno se sometía a la revelación de la fe, no era por ignorancia, sino, al contrario, porque uno conocía mejor que nadie los límites de la razón y el valor de las pruebas.

En junio de 1658, Pascal, bajo el seudónimo de Amos Dettonville, dirigió una circular a los matemáticos europeos, proponiéndoles encontrar la solución de seis cuestiones —dificilísimas— sobre el área de un segmento de la cicloide, el centro de gravedad de este segmento, los volúmenes y los centros de gravedad de los cuerpos de revolución formados por este segmento que gira alrededor de su base y de su eje, y ofreciendo a los concursantes dos premios, respectivamente, de cuarenta y veinte doblones. Una segunda circular precisó las condiciones de atribución de los premios.

[24] Cf. *Mémoire sur la vie de M. Pascal, écrit par Mlle. Marguerite Périer, sa nièce, Oeuvres complètes,* p. 40; cf. igualmente *La vie de M. Pascal écrite par Mme. Périer, sa soeur, ibid.*, pp. 19 ss.: cf. la nota anónima del *Recueil Guerrier* citada, *ibid.*, p. 174.

El importe de los premios fue consignado a Carcavy, a quien los candidatos debían enviar sus memorias.

La historia de Marguerite Périer es muy bella. Desgraciadamente, es poco verosímil. Efectivamente, incluso si se admitiera el episodio del dolor de muelas continuaría siendo inconcebible completamente que Pascal se hubiera acordado de repente veinte años más tarde de la cuestión planteada en 1636 por Mersenne y que no hubiera meditado nunca sobre las propiedades de la cicloide, curva muy de moda en la época y de la que se habían ocupado Descartes, Fermat, Torricelli y sobre todo su maestro y amigo Roberval[25]. Además, el relato de Marguerite Périer comporta una inexactitud bastante grave: dice en efecto que Pascal «había fijado el plazo en dieciocho meses». Realmente, Pascal, que, como él mismo confiesa, había trabajado varios meses en la solución de los problemas que sometía a concurso[26], y que había enviado su primera circular en el mes de junio de 1658, había fijado el plazo de recepción de las respuestas el *1 de octubre del mismo año*. Lo que, descontando las demoras del correo, no daba a los concursantes más que tres meses como mucho. No es de extrañar que John Wallis, que el 18 de agosto de 1658 envió a Carcavy una primera respuesta, pidiera la prolongación del plazo o por lo menos la fijación del 1 de octubre como fecha de envío y no de la recepción de las respuestas, alegando que las condiciones del concurso favorecían demasiado a los matemáticos franceses y, sobre todo, a los parisienses. Pascal lo rechazó. En sus *Reflexiones sobre las condiciones de los premios asignados a la solución de los problemas concernientes a la cicloide* (circular del 7 de octubre de 1658 que anuncia el cierre del concurso, bastante altiva y desagradable de tono), justifica su negativa por la consideración artificiosa de que, de otro modo, «incluso aquellos que hubieran ganado los premios al encontrarse los primeros entre aquellos cuyas soluciones se hubieran recibido el primero de octubre, no estarían seguros nunca de poder gozar de ellos, puesto que se les podrían oponer siempre otras soluciones que podrían llegar todos los días, anteriores en fecha, y que los excluirían por la fe de los burgomaestres y oficiales de algún

[25] Había incluso provocado una polémica entre Torricelli y Roberval, quien había acusado de plagio, muy injustamente, al sabio italiano; Pascal renovará esta acusación en su *Histoire de la roulette* de 1658.

[26] Cf. *Problemata de cycloïde, proposita mense junii 1658, Oeuvres complètes*, p. 180: «Quum ab aliquot mensibus, quaedam circa cycloïdem, ejusque centra gravitatis, meditaremur, in propositiones satis arduas et difficiles, ut nobis visum est, incidimus».

pueblo apenas conocido del fondo de Moscovia o Tartaria, de la Cochinchina o del Japón»[27]. Vemos que Pascal no tenía ningunas ganas de arriesgarse a perder sus sesenta doblones y estaba firmemente decidido a ganar su propio concurso.

A pesar de las condiciones desfavorables, el concurso provocó un gran interés: Sluse escribió a Pascal (el 6 de julio de 1658) que había resuelto desde hacía tiempo la primera cuestión; las otras, sin embargo, le parecían demasiado arduas; Huygens, que también encontró difíciles las preguntas, resolvió cuatro de ellas[28]; Christopher Wren no resolvió ninguna, pero, en cambio, rectificó la cicloide —que fue así la segunda curva en ser rectificada— y encontró que su longitud era igual a cuatro veces el diámetro del círculo generador. Wallis envió una memoria bastante larga en la que se enfrentaba a todos los problemas planteados por Pascal tratándolos de un modo muy ingenioso. Desgraciadamente para él, al trabajar apresuradamente cometió varios errores de cálculo, e incluso de método, de los que corrigió una parte pero no todos[29]. Por último, un jesuita, el P. Lalouère, profesor del Colegio de Toulouse, envió una memoria que pretendía —equivocadamente— ser digna del premio.

Inmediatamente después de las *Reflexiones*, Pascal publicó tres escritos que relataban la historia del concurso y explicaban las razones por las que los premios no habían sido otorgados[30]; después, en diciembre de 1658, una *Carta a Carcavi*

[27] Cf. *Réflexions sur les conditions des prix attachés è la solution des problèmes concernant la cycloïde, Oeuvres complètes,* p. 185. Pascal añade *(ibid):* «Yo no dispongo de la gloria. El mérito la da; no me concierne; yo no determino otra cosa que la distribución de los premios, de cuyas condiciones he podido con entera libertad disponer por venir de mi pura liberalidad. Los he establecido de este modo; nadie tiene por qué quejarse; yo no debía nada a los alemanes ni a los moscovitas; podía habérselos ofrecido sólo a los franceses; puedo proponer otros para los flamencos sólo o para los que yo quiera».

[28] Las tres primeras y la sexta. No encontró la solución de las otras dos y no pretendió el premio. El concurso, sin embargo, tuvo para él consecuencias importantes: atrajo su atención sobre la cicloide que, como en 1659 demostró, era la curva «tautocrona».

[29] Wallis volvió a trabajar en su memoria y publicó en 1659 un *Tractatus de cycloide.* Pero no perdonó nunca a Pascal.

[30] La *Histoire de la roulette,* el 10 de octubre; *Récit de l'examen et du jugement des écrits proposés pour les prix proposés sur le sujet de la roulette, où l'on voit que ces prix n'ont pas été gagnés parce que personne n'a donné la véritable solution des problèmes,* el 25 de noviembre; *Suite de l'histoire de la roulette, où l'on voit le procédé d'une personne qui s'était*

en la que exponía sus resultados y los métodos que había empleado para obtenerlos. En enero de 1659 fueron publicadas las *Cartas de A. Dettonville que contienen algunas de sus invenciones de geometría,* que incluyen, entre otros, el famoso *Tratado de los senos de los cuartos de círculo,* que inspiró a Leibniz la invención del cálculo diferencial, la demostración «al modo de los antiguos» *de la igualdad de las líneas espiral y parabólica* y (en una *Carta a Huygens de Zulichem*) una demostración (pero al modo de los modernos) de que «las curvas de las cicloides eran siempre por su naturaleza iguales a las elipses», elipses verdaderas en el caso de cicloides alargadas o acortadas y elipses aplastadas en líneas rectas en el de la cicloide ordinaria [31]. La sutilidad, el ingenio, el virtuosismo desplegados por Pascal en sus tratados, son deslumbrantes. Maneja con una habilidad sin igual los métodos de los antiguos y los de los modernos. Provoca la admiración y Huygens, que, sin embargo, le reprocha «un método demasiado audaz y que se aleja demasiado de la exactitud geométrica» (Huygens es un adepto de los métodos de los «antiguos» y no le gustaron nunca los de los «modernos», es decir, el empleo de los indivisibles), escribe, sin embargo, «que espera con impaciencia poder llamarse su discípulo en una ciencia en la que tanto destaca». Nos equivocaríamos, sin embargo, como se hace muy a

voulu attribuer l'invention des problèmes proposés sur ce sujet, el 12 de diciembre de 1958, con una *Addition à la suite de l'histoire de la roulette,* fechada el 20 de enero de 1659. Los dos últimos escritos están redactados contra el R. P. Lalouère a quien, desde la *Histoire de la roulette,* Pascal había acusado de plagiar a Roberval.

[31] Cf. «Dimension des lignes courbes de toutes les roulettes», carta de Dettonville a Huygens de Zulichem, *Oeuvres complètes,* p. 340. El texto de Pascal merece ser citado por entero: «Se ve... por todas estas cosas que, cuanto más cerca está la base de la ruleta de ser igual a la circunferencia del círculo generador, más pequeño se hace el eje menor de la elipse que es igual a ella con respecto al gran eje y que cuando la base es igual a la circunferencia, es decir, cuando la ruleta es sencilla, el eje menor de la elipse queda totalmente anulado y entonces la curva de la elipse (que es totalmente aplastada) es lo mismo que una línea recta, a saber, su eje mayor. Y de ahí viene que, en este caso, la curva de la ruleta sea igual a una línea recta. Fue por eso por lo que comuniqué a todos aquellos a quienes mandé este cálculo que las curvas de las ruletas eran siempre, por naturaleza, iguales a elipses y que esta admirable igualdad de la curva de la ruleta sencilla con una recta que ha encontrado el señor Wren no era, por decirlo así, más que una igualdad accidental, que proviene de que en este caso la elipse se vea reducida a una recta. A lo que el señor de Sluse añadió la justa observación de que se debería admirar una vez más en esto el orden de la naturaleza, que no permite que se encuentre una recta igual a una curva sino después de haber supuesto la igualdad de una recta con una curva».

menudo, como lo hace, por ejemplo, Emile Picard, si consideráramos estos trabajos de Pascal «el primer tratado de cálculo integral». Sin duda, es cierto que «en la obra de Pascal sobre la cicloide» se encuentran «bajo formas geométricas extremadamente ingeniosas los resultados fundamentales que se refieren a lo que los geómetras llaman hoy las integrales curvilíneas y las integrales dobles», y que «basta, para indicar el poder de estos métodos, recordar el bello teorema sobre la igualdad con un arco de elipse de un arco de cicloide alargada o acortada»; también es cierto, como he dicho ya, que es muy fácil traducir los razonamientos de Pascal al lenguaje del cálculo infinitesimal. Pero es cierto igualmente que haciéndolo no se obtiene más que una traducción y que el razonamiento de Pascal sigue siendo esencialmente geométrico. El «caso» del «triángulo característico» es extremadamente significativo a este respecto: es «característico» para Leibniz, no lo es en absoluto para Pascal; porque Pascal no piensa en la *relación*, piensa en el *objeto*, y por eso deja escapar el descubrimiento de Leibniz como unos años antes había dejado escapar el de Newton.

He dicho que Pascal maneja los métodos de los modernos, es decir, la geometría de los indivisibles, con un virtuosismo y una originalidad sin igual. En cambio, su *interpretación* de este método me parece bastante decepcionante. Pascal no parece haber comprendido el sentido profundo de las concepciones de Cavalieri, para quien los elementos «indivisibles» de un objeto geométrico tienen una dimensión menos que este objeto[32]; en cambio, son las de Roberval —para quien tienen las mismas—, y con relación a las de Cavalieri suponen un contrasentido, las que nos presenta en un pasaje célebre y admirado de la *Carta a Carcavi*[33], «para hacer ver que todo lo que se demuestra por las verdaderas reglas de los indivisibles, se demostrará también rigurosamente y al modo de los antiguos; y que uno de estos métodos no difiere del otro más que en el modo de hablar, lo que no puede herir a las personas razonables una vez que se les ha advertido de lo que se entiende por esto».

«Y por eso —continúa Pascal— no tendré dificultad alguna en emplear a continuación del lenguaje de los indivisibles *la suma de las líneas* o *la suma de los planos..., la suma de las ordenadas* que les parece que no es geométrica a los que no comprenden la doctrina de los indivisibles y que piensan que

[32] Sobre este problema, cf. mi artículo citado en la nota 4.
[33] Cf. Carta de Dettonville a Carcavi, *Oeuvres complètes*, pp. 232 ss.

es pecar contra la geometría expresar el plano por un número indefinido de líneas, lo que no proviene más que de su falta de inteligencia, puesto que no se entiende con eso sino la suma de un número indefinido de rectángulos, hechos a partir de cada ordenada con cada una de las pequeñas porciones iguales del diámetro, cuya suma es ciertamente un plano...»

Así, pues, en resumen, Pascal es un matemático de un enorme talento, que tuvo la buena suerte de haber sido formado por Desargues en su primera juventud, y que tuvo la desgracia de haber sido, en su madurez, profundamente influido por Roberval[34]. Es ciertamente uno de los primeros geómetras de su tiempo, sin que, sin embargo, se le pueda poner en el mismo nivel que los tres genios matemáticos de los que se puede enorgullecer la Francia del siglo XVII, a saber, Descartes, Desargues y Fermat.

Miremos ahora a Pascal como físico. Este es mucho mejor conocido que el matemático, y con razón: mientras que las obras matemáticas de Pascal son para nosotros bastante difíciles, las obras de Pascal físico no lo son en absoluto. Por eso son constantemente editadas y reeditadas. Todo hombre culto conoce los fascinantes relatos sobre los *Nuevos experimentos concernientes al vacío* y *El gran experimento del equilibrio de los líquidos* (el experimento del Puy de Dôme); son, se ha dicho a menudo y con justicia, joyas de la literatura científica en las que no se puede dejar de admirar la claridad maravillosa de la exposición, la firmeza del pensamiento, el arte con el que los experimentos son presentados uno tras otro a la atención del lector.

Hay algo mágico en el estilo de Pascal y las mismas ideas que se encuentran en otros toman un giro diferente cuando se leen en él. Tres páginas confusas del R. P. Mersenne o una de Roberval son reducidas por Pascal a diez líneas, y tenemos la impresión de que es algo distinto por completo. Se siente uno tentado a invocar la ley de Boyle-Mariotte y a decir que la densidad del pensamiento es inversamente proporcional al volumen —o a la extensión— de lo escrito.

[34] Es difícil dar un juicio objetivo sobre Roberval, cuya obra se conoce mal y en parte está inédita (o se ha perdido). Parece cierto en todo caso que, a pesar de su innegable talento, no es una figura de primera fila. Pascal es ciertamente muy superior a él.

Temo, sin embargo, que esta magia de estilo nos prive, aunque no sea mucho, de nuestras facultades críticas y nos impida examinar los relatos de Pascal en cuanto a su contenido. Intentemos, pues, hacerlo sin prejuicios. Todo el mundo conoce el texto de los *Nuevos experimentos concernientes al vacío;* sin embargo, me permitiré citarles algunos fragmentos sin entrar no obstante en la historia de las circunstancias que provocaron su publicación [35]:

El momento de estos experimentos, escribe Pascal, fue éste: hace unos cuatro años que en Italia se experimentó que si se llena de mercurio un tubo de vidrio, abierto en un extremo y en el otro cerrado herméticamente, luego se tapa la boca con el dedo o de otro modo, y se dispone el tubo perpendicularmente al horizonte, poniendo hacia abajo la boca cerrada y sumergida dos o tres dedos en otro mercurio contenido en un recipiente lleno hasta la mitad de mercurio y la otra mitad de agua, y se destapa la abertura dejándola hundida en el mercurio del recipiente, el mercurio del tubo baja en parte, dejando en la parte superior del tuvo un espacio vacío en apariencia y quedando la parte inferior del mismo tubo llena del mismo mercurio hasta una cierta altura. Y si se eleva un poco el tubo hasta que su boca, que antes estaba bañada en el mercurio del recipiente, saliendo de este mercurio, llegue a la zona del agua, el mercurio del tubo sube hasta arriba con el agua; y estos dos líquidos se mezclan en el tubo; pero al final todo el mercurio cae y el tubo se llena de agua.

Habiendo sido comunicado este experimento desde Roma al R. P. Mersenne, mínimo de París, éste lo divulgó en Francia en 1644 no sin la admiración de todos los sabios y curiosos por cuya difusión se ha hecho famoso en todas partes. Yo lo supe por M. Petit, intendente de fortificaciones y entendidísimo en todo lo referente a las letras, que lo había conocido por el propio R. P. Mersenne. Por lo tanto lo hicimos juntos en Rouen, el mencionado señor Petit y yo, del mismo modo que había sido hecho en Italia y encontramos punto por punto lo que había sido comunicado desde ese país sin notar entonces en él nada nuevo.

El relato de Pascal comporta dos lagunas. No nos dice que «los sabios y curiosos» parisienses que intentaron hacer de nuevo en París el experimento de Torricelli no lo lograron y esto por una razón de cierta importancia: los vidrieros parisienses eran incapaces de proveerles de tubos de cristal lo suficientemente resistentes para soportar la presión de tres pies

[35] Cf. *Oeuvres complètes*, pp. 362 ss. Sobre la historia del vacío, cf. el bellísimo estudio de Cornelis de Waard, *L'expérience barométrique, ses antécédents et ses applications*, Thouars, 1936.

de mercurio; al ser los vidrieros de Rouen superiores a los de París, resistió la «cerbatana» (el tubo) que Pierre Petit les encargó. Por eso mismo Pierre Petit fue el primero (con Pascal) en conseguir en Francia la producción del vacío «torricelliano». No nos dice tampoco que el experimento que había hecho con Pierre Petit y sobre el que, o por lo menos a partir del cual, había modelado los suyos, había tenido como autor al ilustre sabio italiano.

La razón de este doble silencio es bastante difícil de comprender. Se podría suponer, no obstante, que Pascal no quería herir o indisponer a sus amigos de París proclamando públicamente su fracaso; fracaso además del que no eran en modo alguno responsables. Y que estimaba haber inventado y logrado suficientes experimentos nuevos y originales para no necesitar vanagloriarse de haber sido (con Petit) el *primero* en lograr uno antiguo. Pero ¿por qué haber silenciado el nombre de Torricelli? Pascal nos dirá, sin duda, o más exactamente, dirá a De Ribeyre (el 16 de julio de 1651) que en esta época, es decir, en 1646 y 1647, no sabía que el autor en cuestión era Torricelli, y que desde que lo supo, nunca lo silenció. Hay que confesar, sin embargo, que esta ignorancia es por lo menos bastante sorprendente, dado que Petit, en su carta a Chanut, se refiere expresamente al experimento «de Torricelli», y que Roberval en su primera *Narración* a Desnoyers, escrita (en octubre de 1647) para defender la prioridad —relativa— de Pascal contra las pretensiones de Magni a la prioridad absoluta, lo menciona también expresamente [36].

Pero dejemos esto. Continuemos y completemos el relato. Los experimentos que Petit había hecho con él eran en sí mismos ampliamente suficientes para refutar la doctrina tradicional de la imposibilidad o del «horror» al vacío. Pero no consiguieron persuadir a los defensores de la tradición. Por eso, tras la marcha de Petit, Pascal se decide a hacer, esta vez solo, una serie de experimentos variados y nuevos, con el fin de convencer a los incrédulos y destruir definitivamente el antiguo y tenaz prejuicio.

Los experimentos de Petit y, aún más, los de Pascal tuvieron una resonancia considerable y a éste último le valieron una celebridad bien merecida. Pero en el otoño de 1647, el R. P. Mersenne recibió de Varsovia una carta con fecha del 24 de julio,

[36] *Oeuvres de Blaise Pascal*, ed. Brunschvicg-Boutroux, vol. I, pp. 323 ss. (Carta de P. Petit a Chanut) y vol. II, pp. 21 ss. (Primera narración de Roberval a Desnoyers.)

en la que Pierre Desnoyers, un francés que había seguido a María de Gonzaga, le anunciaba los experimentos «de un capuchino llamado P. Valeriano Magni que está publicando una filosofía que prueba que el vacío puede encontrarse en la naturaleza». La recepción de esta carta, así como la de «la filosofía» del P. Magni[37], en la que éste se atribuía la gloria de ser el primero en haber demostrado la existencia del vacío, y en haber visto con sus ojos *Locum sine locato, corpus motum successive in vacuo, lumen nulli corpori inhaerens,* obligaron a Pascal a publicar sus *Nuevos experimentos;* por su parte, Roberval envió a Desnoyers una *Narración* en la que, oponiéndose a las pretensiones de Magni, al que acusa de haber simplemente plagiado a Torricelli, cuenta los trabajos de su joven amigo[38].

En el título de su opúsculo, Pascal nos dice haber hecho experimentos «en tubos, jeringas, sopletes y sifones de varias longitudes y formas: con diversos líquidos, como mercurio, agua, vino, aceite, aire, etc.». Nos dice igualmente que su opúsculo no es más que un «resumen», dado por adelantado, «de un gran tratado sobre el mismo tema». La advertencia «al lector» nos advierte de que, «impidiéndole las circunstancias dar ahora un tratado entero en el que ha referido cantidad de experimentos nuevos que ha hecho referentes al vacío y las consecuencias que ha sacado de ellos»[39], ha querido hacer un relato de los principales en este resumen, «donde se verá anticipadamente la intención de toda la obra».

A decir verdad, «la intención de toda la obra» no aparece en absoluto en los *Nuevos experimentos.* Está, en efecto, fuera de

[37] *Demonstratio ocularis loci sine locato, corporis successive moti in vacuo, luminis nulli corpori inhaerentis, etc.,* Varsovia, s. d. (la aprobación de la obra está fechada el 16 de julio de 1647). El 12 de septiembre de 1647 Magni completó su obra por una *Altera pars demonstrationis ocularis de possibilitate vacui;* los dos opúsculos se reunieron entonces bajo el título *Admiranda de vacuo,* Varsovia, s. d., (1647).

[38] La acusación de plagio formulada por Roberval no está en absoluto fundada; en cuanto a la que Pascal (en su carta a la De Ribeyre del 16 de julio de 1651) hará a su vez, al pretender que el propio Magni le había plagiado, es muy poco realista. Por lo demás, Magni, en su respuesta a la acusación de Roberval (el 5 de septiembre de 1648) reconocerá la propiedad de Torricelli, pero sostendrá su originalidad; cf. C. de Waard, *op. cit.,* pp. 125 ss.

[39] Lo que impedía a Pascal publicar su *Tratado* era el hecho de que aún no lo había escrito. No lo terminará, en efecto, hasta 1651 (cf. nota 2), pero tampoco lo publicará. Según Florin Périer, «este tratado se perdió, o mejor dicho, como le gustaba mucho la brevedad, lo redujo él mismo a dos breves tratados» sobre *L'Equilibre des liquides et la pesanteur de la masse de'air.*

toda duda que la finalidad del *Tratado* era demostrar que los efectos atribuidos al horror al vacío se deben en realidad a la presión (o peso) del aire ambiente. Ahora bien, estos *Nuevos experimentos* ignoran por completo este tema y se dedican exclusiva y únicamente a la demostración de la existencia del vacío. Esta demostración se hará en dos tiempos: se producirá primero un espacio «vacío en apariencia»; a continuación, se demostrará «que el espacio vacío en apariencia no está lleno de ninguna de las materias que se conocen en la naturaleza y que son perceptibles por los sentidos». Se concluirá de esto «hasta que se haya demostrado la existencia de materia que lo llene», que está verdaderamente vacío y «desprovisto de toda materia».

Los principales experimentos referidos por Pascal son ocho: experimentos con una jeringa, un fuelle, un tubo de cristal de 46 pies, experimentos con un sifón escaleno cuya rama más larga es de 50 pies y la más corta de 45, experimentos con un tubo de 15 pies lleno de agua en el que se mete una cuerda y que se sumerge en un recipiente lleno de mercurio, otro experimento más con la jeringa y dos experimentos con un sifón cuya rama mayor tiene 10 pies y la otra 9 1/2, sumergidas en dos recipientes de mercurio. De estos experimentos ingeniosísimos, y que demuestran muy bien *a)* que la naturaleza, lejos de oponer una resistencia invencible a la producción de vacío. no le opone más que una resistencia limitada; *b)* que una fuerza, por poco superior que sea a aquélla con la que el agua tiende a caer de una altura de 31 pies, basta para producirlo; y que, además, la naturaleza no resiste más a la producción de un gran vacío que a la de uno pequeño, y *c)* que éste, una vez producido, puede ser agrandado a voluntad sin que aquélla se le oponga en absoluto; no retendremos más que dos, los más célebres, el tercero y el cuarto, aquéllos en los que Pascal nos dice que ha empleado unos tubos de vidrio de 46 e incluso de 50 pies. Citemos la descripción:

3. Si se llena de agua, o mejor de vino muy rojo, para que sea más visible, un tubo de vidrio de 46 pies, uno de cuyos extremos está abierto y el otro cerrado herméticamente, y luego se tapona y levanta en esta situación, se pone perpendicularmente al horizonte, se tapa la boca hacia abajo en un recipiente lleno de agua y se hunde dentro aproximadamente un pie; si se destapa la boca, el vino del tubo baja hasta una cierta altura que es aproximadamente 32 pies desde la superficie del agua del vaso y se vacía y se mezcla con el agua del recipiente que contiene insensiblemente y separándose de la parte superior del vidrio, deja un espacio de

unos trece pies vacío en apariencia o incluso no parece que ningún cuerpo haya podido ocupar su puesto. Y si se inclina el tubo, como entonces la altura del vino del tubo se hace menor por esta inclinación, el vino sube hasta que llega a la altura de 32 pies; y, por último, si se le inclina hasta la altura de 32 pies, se llena completamente absorbiendo así tanta agua como vino había arrojado: de tal modo que se le ve lleno de vino desde arriba hasta una altura de 13 pies, y lleno de agua teñida insensiblemente en esos 13 pies que quedan por abajo.

4. Si se llena de agua un sifón escaleno, cuya rama más alta es de 50 pies y la más corta de 45, y se tienen las dos bocas cerradas puestas en dos recipientes llenos de agua y hundidas aproximadamente un pie de modo que el sifón sea perpendicular a la horizontal y que la superficie del agua de un vaso sea cinco pies más elevada que la superficie del otro, y se destapan las dos bocas, estando en tal situación el sifón, la rama más larga no atrae en absoluto el agua de la más corta, ni por consiguiente la del recipiente donde está, en contra del sentir de todos los filósofos y artesanos; sino que el agua baja por las dos ramas de los dos recipientes hasta la misma altura que en el tubo anterior contando la altura desde la superficie del agua de cada uno de los recipientes. Pero habiendo inclinado el sifón por debajo de la altura unos 30 pies, la rama más larga atrae el agua que está en el recipiente de la más corta; y cuando se le vuelve a levantar por encima de esta altura, esto cesa y los dos lados desaguan, cada uno en su recipiente, y cuando se le baja, el agua de la rama más larga atrae al agua de la más corta como antes.

El texto es digno de Pascal. Olvidemos, sin embargo, por unos instantes que se trata de Pascal. Supongamos que nos encontramos ante un texto anónimo, o firmado por un nombre desconocido. ¿No nos preguntaríamos si el autor en cuestión hizo realmente los experimentos de los que habla y, si los hizo, si los ha descrito *exacta* y *completamente?* Planteemos, pues, estas preguntas a Pascal.

Tubos de vidrio de 46 pies... son muy difíciles de fabricar, incluso hoy. Y aunque Roberval nos afirme que fueron hechos con un arte maravilloso —Roberval no obstante dice 40 pies—, es muy poco probable que los vidrieros del siglo XVII, incluso los de Rouen, fueran capaces de producir uno. Además, manejar un tubo de 15 metros no es fácil aun cuando —la información nos la surte una vez más Roberval— se los ate a mástiles[40]. Con el fin de hacerlos realizar los movimientos impli-

[40] Primera *Narration à Desnoyers*. La *Narration* de Roberval es a menudo más rica en precisiones —e incluso en hechos— que las *Nouvelles expériences.*

cados en los experimentos de Pascal, se necesitan andamios, tornos elevadores, en resumen, una instalación industrial mucho más poderosa y complicada que las que se emplean normalmente en los astilleros. Pues es mucho más fácil y más simple hincar un mástil de navío, que mover, del modo requerido por Pascal, un sifón escaleno cuya rama más larga es de 50 pies... Es un poco asombroso que Pascal no nos haya dado la descripción ni el dibujo. No nos satisface el saber por Pascal que estos experimentos le costaron mucho trabajo y dinero, y por Roberval que Pascal construyó aparatos muy ingeniosos. Nos gustaría tener precisiones sobre estos aparatos, así como sobre la manera en que se habían preparado los tubos y el gran sifón de 50 metros.

Entendámonos bien; no quiero insinuar que Pascal no haya realizado los experimentos que nos describe —o los que Roberval nos refiere—, aunque la literatura científica del siglo XVII esté llena de experimentos que no pudieron ser hechos. El R. P. Mersenne —menos crédulo en estas cosas que los historiadores de los siglos XIX y XX— pone en duda, muy justamente, los famosos experimentos de Galileo sobre la caída libre de los cuerpos y sobre su movimiento en el plano inclinado; Viviani nos cuenta el experimento —inventado completamente— que el joven Galileo ha hecho en Pisa al lanzar balas de cañón desde lo alto de la torre inclinada; Borelli, en su polémica contra Stefano d'Angeli, invoca fríamente unos experimentos cuyos resultados —si los hubiera habido— le habrían llevado a la ruina; y en cuanto al propio Pascal, el *Tratado del equilibrio de los líquidos* contiene una serie de experimentos cuyo carácter de experimento mental había señalado ya —con razón— Robert Boyle[41].

No hay nada anormal en todo esto. Tal como acabo de decir, la literatura científica del siglo XVII —y no sólo la del XVII— está llena de estos experimentos ficticios, y se podría escribir un libro muy instructivo sobre la función en la ciencia de los experimentos no realizados e imposibles de realizar.

Pero, una vez más, no quiero afirmar que Pascal no haya realizado los experimentos que nos dice haber hecho; en cambio, creo poder afirmar que no los describió *tal* como *los hizo* y no expuso sus resultados tal *como se desarrollaron ante sus ojos*. Seguro que nos oculta algo.

[41] Por ejemplo, el experimento del hombre que apoya un tubo en su muslo estando a veinte pies por debajo de la superficie del agua.

Efectivamente, cuando, inspirándose en los *Discorsi* de Galileo, Gasparo Berti hizo en Roma el primer experimento del vacío[42] —Berti había utilizado un tubo de plomo de 10 metros de largo terminado en una gran bola de vidrio que fijó en la fachada de su casa— se constató que, como había dicho Galileo, el agua se detuvo a una altura límite; pero se constató también algo más; a saber, que este agua se puso a burbujear. Lo que era muy natural: el aire disuelto en el agua se escapaba formando burbujas; lo que por otro lado era bastante molesto para los partidarios del vacío, como el mismo Berti: sus detractores podían con un viso de razón afirmar que el espacio por encima del agua no estaba vacío más que en apariencia y que realmente estaba lleno de aire y de vapor de agua.

El fenómeno del burbujeo no podía dejar de producirse en los tubos de Pascal: es inevitable, y cuando en 1950 el experimento de Pascal se reprodujo en el Palais de la Découverte (fue en esta ocasión cuando se vio la dificultad de hacerse con un tubo de vidrio de 15 metros de largo; se renunció a él finalmente sustituyéndolo por un conjunto de tubos de 2,55 metros), se vio que el agua burbujeaba. E incluso con bastante violencia.

Este fenómeno ¿podía habérsele escapado a Pascal? No lo creo —además, admitirlo supondría pronunciar una condena contra Pascal como experimentador—; y esto tanto menos cuanto que el fenómeno del burbujeo no es el único fenómeno notable que se produce en el tubo: a causa de la presión del aire (y del vapor de agua), la columna de agua baja y esta bajada llega a 1,50 m. en veinticuatro horas[43].

Pero hay algo más: Roberval, que en 1647 no sólo se había puesto rotundamente de parte de Pascal contra Magni, sino que en su *Primera narración* a Desnoyers (octubre de 1647), en la que nos ofrece sobre los experimentos de Pascal precisiones y amplificaciones que el propio Pascal no da, había abrazado todas las conclusiones de Pascal, en 1648, bruscamente, cambia de opinión. En 1647 había hecho muy pocos experimentos (con mercurio). Luego los multiplicó y se dio cuenta de que las burbujitas de aire subían a lo largo de la columna de mercurio. ¿Provenían del aire pegado a las paredes del tubo, o era aire contenido, en estado de compresión, en el mismo mercurio?

[42] Cf. Cornelis de Waard, *op. cit.*, pp. 101 ss.

[43] Estos fenómenos —el burbujeo y la bajada de nivel— deben ser mucho más pronunciados en el caso del vino que en el del agua. En cuanto al sifón, indefectiblemente debía producirse un tapón de aire en su punta.

Poco importa. Se hacía evidente en todo caso que no se podía admitir que el vacío aparente era idéntico al vacío real. Y Roberval, en su *Segunda narración* (mayo de 1648), al describir los experimentos de Pascal con el agua y el vino, añade que los que asistieron a ellos —el propio Roberval no estaba presente en Rouen— no pudieron dejar de observar las burbujitas de aire elevándose a lo largo del tubo, y haciéndose más grandes a lo largo de esta elevación. Fenómeno que implica una comprensibilidad y, viceversa, una dilatabilidad del aire que sobrepasa todo lo que se podía imaginar[44].

Me parece que se impone la conclusión: Pascal no nos ha dado el relato completo y exacto de los experimentos que hizo o imaginó, lo que proyecta una luz singular sobre su polémica con el P. Noël y, además, modifica sensiblemente la imagen tradicional de Pascal, experimentador sagaz y prudente que la convención histórica opone al apriorista impenitente que se llama Descartes. No, Pascal no es un discípulo fiel de Bacon, una primera edición de Boyle.

¿Hay burbujas de aire en el agua e incluso en el mercurio? ¡Menuda complicación! Para Pascal esto no tiene ninguna importancia. Ha *imaginado* tan bien, tan claramente, los experimentos que ha hecho —o que no ha hecho—, que ha captado de ellos lo esencial, a saber, la interacción de los líquidos (para Pascal el aire es un líquido) que se sostienen en equilibrio mutuamente[45]. Es una pena que los líquidos empleados —el vino, el agua, el aceite, el mercurio— no sean líquidos perfectos, continuos, homogéneos, que contengan aire y que este mismo aire se pegue a las paredes de los tubos. ¿El aire dilatado llena el «vacío aparente»? Es verdad y es muy molesto. Pero si se lograra eliminarlo, si se pudieran usar líquidos que no lo contuvieran, *entonces* el experimento establecería la identidad del vacío aparente con el vacío verdadero. Pues aunque Pascal, en sus conclusiones no afirme formalmente su existencia —lo recordará en sus cartas al R. P. Noël y a Le Pailleur—, está claro que está plenamente convencido de ello. La definición misma que da en su carta al R. P. Noël —aunque, sin duda, tiene razón al alegar que una definición no es un juicio y que decir

[44] Cf. *Deuxième narration, Oeuvres*, ed. Brunschvicg-Boutroux, vol. II, p. 328. Esta observación de Roberval es de malísima intención.

[45] En 1647, Pascal, como lo prueba la carta a Florin Périer del 15 de noviembre de 1647, relativa al experimento barométrico a realizar en el Puy de Dôme, y el hecho de que había concebido en esta misma época el experimento del vacío en el vacío, estaba ya en plena posesión de su doctrina.

llamo con tal nombre a tal cosa no implica, en principio, la afirmación de su existencia— lo prueba suficientemente. No se dice «lo que llamamos espacio vacío es un espacio que tiene longitud, latitud y profundidad, inmóvil y capaz de recibir y contener un cuerpo de longitud y forma parecida; y es lo que se llama *sólido* en geometría, donde sólo se trata de cosas abstractas e inmateriales», si no se cree en su existencia real, y el R. P. Noël, cometiendo un error formal, no se equivocó. Pascal no quiso, simplemente, revelar prematuramente sus tácticas: tiene efectivamente todo un *Tratado* que va a aportar la demostración requerida y a explicar al mismo tiempo, por la teoría del equilibrio de los líquidos, la razón por la cual el vacío se produce en los tubos. No quiere mientras tanto sembrar la duda en el ánimo de los crédulos, a los que hay que preparar por el contrario para que acepten las pruebas futuras, ni dar armas a sus adversarios.

Entre sus adversarios, el más célebre, el más tristemente célebre es, sin duda, el R. P. Noël, de la Compañía de Jesús, que, después de haber leído los *Nuevos experimentos*, dirigió a Pascal una carta en la que, mezclando un poco los argumentos antiguos y las concepciones cartesianas —y valiéndose de la transmisión de la luz por el vacío aparente— defendía la doctrina tradicional y afirmaba que «el vacío aparente de los tubos de Torricelli estaba lleno de un aire depurado que entra por los pequeños poros del vidrio». Fue una mala ocurrencia: la respuesta de Pascal, una obra maestra de fina y mordaz ironía —una pre-*Provincial*— da al viceprovincial de La Flèche una lección de método y una lección de física. Pascal objeta al pobre jesuita entre otras cosas que no se conoce la naturaleza de la luz y que la definición que da de ella el P. Noël: «*La luz es un movimiento luminoso de rayos compuestos de cuerpos lúcidos, es decir, luminosos*», al ser circular, no quiere decir nada en absoluto; que no se tiene, pues, el derecho de afirmar que se propague sólo en el lleno y no en el vacío; y que por el hecho de que una hipótesis explique un fenómeno observado no se puede concluir la verdad de esta hipótesis, pues los mismos fenómenos pueden recibir una multiplicidad de explicaciones, y ser producidos por las más diversas causas. Así, por ejemplo, los fenómenos celestes se explican tanto en la hipótesis de Tolomeo como en las de Copérnico o Tycho Brahe.

El R. P. Noël habría debido callarse. Desgraciadamente para él —y por suerte para nosotros— respondió, y es a esta respuesta a la que debemos la deslumbradora carta de Pascal a

Le Pailleur[46], obra maestra insuperable de despiadada y feroz polémica. El pobre P. Noël es literalmente puesto en ascuas, traído, llevado y ridiculizado. El lector no puede menos que reírse de él y termina la lectura con la impresión de que mientras Pascal es un genio, el R. P. Noël es un perfecto imbécil y que las objeciones metafísicas que levanta contra la idea del vacío están tan desprovistas de valor como su definición de la luz o su explicación de la subida del mercurio (o del agua) en el tubo por la acción de «la ligereza moviente...».

Pascal es ciertamente un genio, y el R. P. Noël no lo es; nada más lejos de eso. En esto no hay ninguna duda, como tampoco en la superioridad de la física de Pascal sobre la de este pobre escolástico tardío. Y, sin embargo, cuando escribe: *Este espacio que no es ni Dios, ni criatura, ni cuerpo, ni espíritu, ni sustancia, ni accidente, que transmite la luz sin ser transparente, que resiste sin resistencia, que es inmóvil y se transporta con el tubo, que está en todas y en ninguna parte, que hace todo y no hace nada, etc.*», ¿es verdaderamente ridículo y estúpido? Y la respuesta de Pascal, que elude el «ni Dios ni criatura» con el pretexto de que «los misterios que conciernen a la Divinidad son demasiado santos para profanarlos con nuestras disputas», como si se tratara de una cuestión dogmática y no de un problema de metafísica pura, y que escribe: «*Ni cuerpo ni espíritu.* Es verdad que el espacio no es ni cuerpo ni espíritu, pero es espacio; así, el tiempo no es ni cuerpo ni espíritu, pero es tiempo; y como el tiempo no deja de ser, aunque no sea ninguna de esas cosas, así el espacio vacío bien puede ser, sin ser por eso ni cuerpo ni espíritu. *Ni sustancia ni accidente.* Esto es, si se entiende por *sustancia* lo que es o cuerpo o espíritu, pues en este sentido el espacio no será ni sustancia ni accidente, pero será espacio como en este mismo sentido el tiempo no es ni sustancia ni accidente, sino que es tiempo, porque para ser no es necesario ser sustancia o accidente», esta respuesta ¿es verdaderamente tan admirable? ¿Pascal no trata un poco bruscamente, un poco a la ligera, graves problemas metafísicos que han preocupado a los más grandes espíritus de su tiempo? Es cierto en todo caso que cuando leemos a Gassendi, de quien Pascal toma todo esto, lo admiramos mucho menos. Incluso nada.

En cambio, cuando encontramos las objeciones del R. P. Noël en otros, no nos parecen tan ridículas. Pues lo que dice el R. P. Noël es exactamente lo que nos dicen Descartes, Spi-

[46] En 1648; cf. *Oeuvres complètes*, pp. 377-391.

noza y Leibniz, quienes coinciden en la negación del vacío y se plantean, muy seriamente —Newton lo hace también— el problema de las posibles relaciones entre Dios y un espacio que, comprendido como lo comprende Pascal, no puede ser una criatura; con riesgo por supuesto de dar respuestas diferentes a este problema que todos se tomaron muy en serio.

Incluso la objeción según la cual el paso de la luz a través del «vacío aparente» excluye la posibilidad de un «vacío real», no nos burlamos de ella cuando la encontramos en la pluma de Huygens; como tampoco encontramos ridículos a los físicos del siglo XIX que a partir de Young y de Fresnel, y por razones análogas a las del R. P. Noël, al que por esto se podría presentar como su precursor, postulan un éter luminífero para explicar la transmisión de la luz por el «vacío aparente». La magia del verbo de Pascal es una cosa peligrosa, a la cual es muy difícil, pero tanto más necesario, resistir a toda costa, pues nos induce a errores históricos y nos lleva a injusticias e inconsecuencias.

Pero ya he sobrepasado ampliamente el tiempo que me ha sido concedido y debo detenerme, sin poder abordar ni *El gran experimento del equilibrio de los líquidos* (el experimento del Puy de Dôme) cuya meticulosa y precisa organización sigue siendo —incluso si la idea de este experimento le fue sugerida por otros, sobre todo por Descartes, que preveía un resultado positivo, o por el R. P. Mersenne, que dudaba de que diera alguno— un mérito indiscutible de Pascal y un testimonio indiscutible de su genio experimental; ni los *Tratados del equilibrio de los líquidos y de la gravedad de la masa del aire*, que resumen —y sin duda completan— perdido el *Tratado del vacío*[47], y que nos muestran a Pascal bajo un aspecto nuevo, el de ordenador y sistematizador.

Hay, en efecto, pocas ideas realmente nuevas en estos *Tratados;* quizá ninguna; leyéndolos se pueden notar fácilmente (como lo hace Pierre Boutroux) de pasada —Pascal no cita a nadie— las fuentes en las que bebió o se inspiró: Stevin, Mersenne, Torricelli. Pero la multiplicidad y variedad de los experimentos descritos, como el del «vacío en el vacío», el orden admirable en el que se presentan y ordenan los hechos —tanto reales como imaginarios— en función de una idea única, sobre todo la del *equilibrio de los líquidos,* equilibrio fundado él mismo en el principio del trabajo virtual —sin olvidar la invención de la prensa hidráulica, buen ejemplo del ingenio tecnológico

[47] Cf. notas 2 y 39.

de Pascal—, hacen de ella una obra de una originalidad deslumbrante y digna de figurar entre los clásicos de la ciencia.

Sin embargo, el espíritu de sistematización del que Pascal nos ofrece en estos *Tratados* un ejemplo tan bello comporta algún peligro. Efectivamente, la asimilación del aire a un líquido, corriente por lo demás en su época —Descartes también asimila el aire a un líquido muy ligero— en otros términos, la asimilación de la neumática a la hidrostática, lleva a Pascal (aunque para explicar la dilatación de una vejiga llevada a la cima de una montaña, que varía con la altitud, alegue la mayor o menor compresión del aire) a no distinguir claramente (lo que es algo bastante difícil y será el gran mérito de R. Boyle), entre la *presión* del aire y su *peso* o, lo que es lo mismo, entre la presión elástica de un gas y la no elástica de un líquido, y a explicar por el *peso* del aire fenómenos producidos por su *presión*.

PERSPECTIVAS DE LA HISTORIA DE LAS CIENCIAS *

La excelente ponencia de H. Guerlac —a la vez un admirable *survey* a vuelo de pájaro de la evolución de la historia en general y de la historia de las ciencias en particular y una crítica de cómo se ha hecho hasta aquí— viene a tiempo. Efectivamente, es bueno que después de haber consagrado mucho tiempo y esfuerzos a la discusión de problemas concretos de la historia de las ciencias, nos pongamos a nosotros mismos, como historiadores, en «tela de juicio». Sigamos, pues, la conminación délfica de H. Guerlac; preguntémonos: «¿Qué es la historia?» Este término, como él nos recuerda, se aplica propiamente a la historia *humana*, al pasado *humano*. Pero es ambiguo: designa por un lado el conjunto de todo lo que pasó antes que nosotros; dicho de otro modo, el conjunto de hechos y acontecimientos del pasado —podríamos llamarla «historia objetiva» o «actualidad pasada»— y, por otro lado, el *relato* que de ella hace el historiador, relato cuyo objeto es ese pasado. *Res gestae* e *historia rerum gestarum*. Ahora bien, el pasado, en tanto que *pasado* precisamente, nos es inaccesible para siempre: se desvanece, ya no existe, no podemos tocarlo, y sólo a partir de sus vestigios y huellas, de sus restos que están *todavía presentes* —obras, monumentos, documentos que han escapado a la acción destructora del tiempo y de los hombres— intentamos nosotros reconstruirlo. Pero a la historia objetiva —la que los hombres hacen y sufren— le preocupa muy poco la historia de los historiadores; deja que subsistan cosas sin valor y destruye sin piedad los más importantes documentos [1],

* Texto original de una ponencia presentada como respuesta a una exposición de Henry Guerlac en el Coloquio de Oxford, julio de 1961. La traducción inglesa ha sido publicada en *Scientific Change*... (A. C. Crombie comp., Londres, 1963, pp. 847-857). La exposición de H. Guerlac figura en las pp. 797-817 de la misma obra.

[1] Como los escritos de los presocráticos, de Demócrito... En cambio, hemos conservado a Diógenes Laercio.

las obras más bellas, los más prestigiosos monumentos[2]. Lo que les deja —o ha dejado— son ínfimos fragmentos de lo que necesitarían. Por eso las reconstrucciones históricas son siempre inciertas e incluso doblemente inciertas... Pobre y pequeña ciencia de conjeturas: es así como Renan llamó a la historia.

Además, son siempre parciales. El historiador no cuenta todo, ni siquiera todo lo que sabe o podría saber —¿cómo podría hacerlo? Tristram Shandy nos ha demostrado que es imposible—, sino sólo lo que es importante. La historia del historiador, *historia rerum gestarum*, no contiene todas las *res gestae,* sino sólo las que son dignas de ser salvadas del olvido. La historia del historiador es, por tanto, la consecuencia de una elección. E incluso de una doble elección.

Primero, de la elección de estos contemporáneos y sucesores inmediatos —o mediatos— de las *res gestae* que, como historiadores del presente o conservadores del pasado, anotaron en sus anales, inscripciones y memorias, los hechos que *les* parecían importantes y dignos de ser retenidos y transmitidos a sus descendientes, que copiaron los textos que *les* parecían que tenían que ser preservados; y de la elección del historiador que más tarde utiliza los documentos —materiales que ha heredado— y que muy a menudo no está de acuerdo con sus contemporáneos o sus predecesores sobre la importancia relativa de los hechos y el valor de los textos que le transmiten; o que no le transmiten.

Pero no puede hacer nada. Por ello queda reducido a lamentar el ignorar tal conjunto de hechos, o la fecha de tal acontecimiento que los contemporáneos habían juzgado desdeñable y que le parecen de una importancia primordial; o el no disponer de textos que serían para él de un valor capital y que sus precedesores no estimaron conveniente conservar[3].

[2] A veces sin duda debemos estos fragmentos a las destrucciones y catástrofes... Como las tablillas cuneiformes que nos han conservado las arenas del desierto y que hoy se deterioran en nuestros museos; como las admirables estatuas griegas descubiertas por la arqueología submarina.

[3] Los contemporáneos toman nota de lo que les atañe inmediatamente; es decir, de acontecimientos; los procesos lentos y profundos se les escapan. Además, entre los acontecimientos hay un gran número que, en el momento en que se producen, no son en absoluto importantes o notables y que no llegan a serlo sino después, por los efectos que producen más tarde, tales como por ejemplo el nacimiento de grandes hombres, la aparición de una invención técnica, etc.

El historiador proyecta en la historia los intereses y la escala de valores de su tiempo: y a partir de las ideas de su tiempo —y de las suyas propias— emprende su reconstrucción. Por eso justamente es por lo que la historia se renueva y por lo que nada cambia más deprisa que el inmutable pasado.

En su excelente resumen de la evolución de la historia —historia de los historiadores— H. Guerlac llama nuestra atención sobre la expansión y profundidad de ésta en los tiempos modernos, sobre todo desde el siglo XVIII [4]. El interés se centra en los períodos y ámbitos de la vida anteriormente desconocidos, mal conocidos u olvidados: de la historia dinástica y política pasa a la de los pueblos, de las instituciones, a la historia social, económica, a la de las costumbres, de las ideas, de las civilizaciones. Bajo la influencia de la filosofía de la Ilustración, la historia se convierte en la «del progreso del espíritu humano»: pensemos en Condorcet, a quien curiosamente H. Guerlac olvidó mencionar. Por eso es normal que sea en el siglo XVIII cuando la historia de las ciencias —ámbito en el que este progreso es indiscutible e incluso espectacular— se constituye como disciplina independiente [5].

Casi al mismo tiempo, o un poco más tarde, bajo la influencia sobre todo de la filosofía alemana, la historia se convierte en el modo universal de explicación. ¡Conquista incluso el mundo de la naturaleza! La regla «el pasado explica el presente» se extiende a la cosmología, a la geología, a la biología. El concepto de evolución se hace un concepto clave; con toda justicia, el siglo XIX ha sido bautizado siglo de la historia. En cuanto a la historia propiamente dicha, la historia humana, sus progresos han sido y continuan siendo en los siglos XIX y XX, conmovedores: el desciframiento de las lenguas muertas, las excavaciones sistemáticas, etc., han añadido miles de años a nuestro conocimiento del pasado. Por desgracia toda medalla tiene su reverso; al extenderse y enriquecerse, la historia se especializa y se fragmenta, se divide y se subdivide; en lugar de una historia de la humanidad tenemos múltiples historias de esto o aquello, historias parciales y unilaterales; en lugar de un tejido unido, hilos separados; en lugar de un organismo vivo, *membra disiecta.*

Es justamente esta especialización a ultranza y el separatismo hostil de las grandes disciplinas históricas lo que Guerlac

[4] Contrariamente a la difundida opinión que lo considera anti-histórico, el siglo XVIII es el origen de nuestra historiografía.

[5] Como la historia del arte un siglo antes.

reprocha a las «historias» —o a los historiadores— modernos, y muy particularmente a la historia —y a los historiadores— de las ciencias. Pues son ellas —y ellos— quienes, más que otros, se han hecho culpables de los dos mayores defectos que acabo de mencionar, quienes han practicado un aislacionismo orgulloso con respecto a sus vecinos, quienes han adoptado una actitud abstracta —Guerlac la llama «idealista»— al no tener en cuenta las condiciones reales en las que nació, vivió y se desarrolló la ciencia. Efectivamente, si desde Montucla y Kästner, Delambre y Whewell, la historia de las ciencias ha progresado brillantemente, renovando nuestra concepción de la ciencia antigua, revelándonos la ciencia babilónica y hoy la china, resucitando la ciencia medieval y árabe; si, con Augusto Comte, ha tratado —sin éxito, por cierto— de integrarse en la historia de la civilización, y con Duhem y Brunschvicg, de asociarse a la historia de la filosofía (disciplina casi tan «abstracta» como ella misma), con todo, y a pesar de Tannery, ha seguido siendo una disciplina separada, sin ligazón con la historia general o social (ni siquiera por intermedio de la historia de la técnica y de la tecnología). Por eso —equivocadamente sin duda, pero no sin razón aparente— ha sido descuidada a su vez por los historiadores propiamente dichos.

Guerlac juzga, pues, que la historia de las ciencias, que en estos últimos tiempos ha llevado a cabo su unión con la historia de las ideas, y no sólo con la de la filosofía, ha continuado siendo sin embargo demasiado abstracta, demasiado «idealista». Piensa que debe superar este idealismo dejando de aislar los hechos que describe de su contexto histórico y social y de prestarles una (seudo)realidad propia e independiente, y que debe, en primer lugar, renunciar a la separación —arbitraria y artificial— entre ciencia pura y ciencia aplicada, teoría y práctica. Debe reconquistar la unidad real de la actividad científica —pensamiento activo y acción pensante— ligada en su desarrollo a las sociedades que le han dado nacimiento y han alimentado —u obstaculizado— su desarrollo, y sobre cuya historia ha ejercido por su parte una acción. Sólo así podrá evitar la fragmentación que la amenaza cada vez más y encontrar de nuevo —o por primera vez— su unidad Ser *una historia de la ciencia,* y no una yuxtaposición pura y simple de historias separadas de ciencias —y técnicas— diferentes.

Estoy en buena parte muy de acuerdo con mi amigo Guerlac —pienso además que lo estamos todos— en su crítica de la especialización a ultranza y de la fragmentación que de ello resulta en la historia. Sabemos que el todo es mayor que la

suma de las partes; que una colección de monografías de historias locales no forma la historia de un país, y que incluso la de un país no es más que un fragmento de una historia más general: de ahí las tentativas recientes de tomar por objeto del relato conjuntos más vastos, de escribir por ejemplo la historia del Mediterráneo, en lugar de historias separadas de los países ribereños, etc. Sabemos igualmente que la división que realizamos entre diversas actividades humanas que aislamos para hacer de ellas ámbitos separados, objetos de historias separadas también, es un poco artificial y que en realidad se condicionan, se interpenetran y forman un todo. Pero, ¿qué hacer? No podemos comprender el todo sin distinguir sus aspectos, sin analizarlo por partes...[6]. La reconstitución, la síntesis viene después. Si es que viene... lo que no es frecuente a juzgar por las últimas tentativas de renovar las hazañas de Burckhardt y ofrecérnoslas bajo el prestigioso nombre de historias de las civilizaciones. Las historias yuxtapuestas no forman una historia... Una historia de las matemáticas, más una historia de la astronomía, más una de la física, una de la química y una de la biología, no forman una historia de la ciencia, ni siquiera de las ciencias...[7]. Es lamentable, sin duda; tanto más lamentable cuanto que las ciencias se influyen y se apoyan mutuamente. Por lo menos parcialmente. Pero, una vez más, ¿qué hacer? La especialización es el precio del progreso, de la abundancia de documentación, del enriquecimiento de nuestros conocimientos que, cada vez más, sobrepasan la capacidad de los seres humanos. Por eso, nadie puede ya escribir la historia de las ciencias, ni siquiera la historia de una ciencia... Las tentativas recientes lo prueban abundantemente una vez más. Pero ocurre lo mismo en todas partes; nadie puede escribir la historia de la humanidad, ni siquiera la historia de Europa, la historia de las religiones o la historia de las artes[8]. Como nadie puede jactarse hoy de conocer las matemáticas, o la física; o la química; o la literatura. Estamos inundados por todas partes. Ese es el gran problema: superabundancia, especialización a ultranza. Pero no es sólo el nuestro. En cuanto a mí, yo no conozco la solución.

[6] Nuestro pensamiento es capaz de abstracción y análisis. La realidad es una, y las ciencias diversas que estudian sus aspectos diversos —física, química, electromagnética— son productos de la abstracción.

[7] Una historia de la música yuxtapuesta a historias de la arquitectura, de la escultura, de la pintura, etc., no forma una historia del arte.

[8] Ni siquiera de un solo arte.

Volvamos ahora al segundo reproche que nos dirige Guerlac, el de ser «idealistas», el de olvidar la unión entre la ciencia llamada pura y la ciencia aplicada, y por esto desconocer la función de la ciencia como factor histórico. Confieso que no me siento culpable. Además, nuestro «idealismo» —volveré sobre ello dentro de un momento— no es realmente más que una reacción contra las tentativas de interpretar —o malinterpretar— la ciencia moderna, *scientia activa, operativa*, como una promoción de la técnica. No importa que se la alabe y exalte por su carácter práctico y eficaz explicando su nacimiento por el activismo del hombre moderno —de la burguesía ascendente— oponiéndolo a la actitud pasiva del espectador —la del hombre medieval o antiguo—, o que se la designe y condene como una «ciencia de ingeniero» que sustituye por la búsqueda del éxito la de la intelección, y que se la explique por una *hybris* de la voluntad de poder que tiende a rechazar la *theoria* en beneficio de la *praxis* para hacer del hombre «el dueño y señor de la naturaleza» en lugar de ser su contemplador reverente: en los dos casos estamos en presencia de un mismo desconocimiento de la naturaleza del pensamiento científico.

Me pregunto además si la insistencia de Guerlac sobre la unión entre ciencia pura y ciencia aplicada y el papel de la ciencia como factor histórico no es, parcialmente por lo menos, una reproyección en el pasado de un estado de cosas actual, o por lo menos moderno. Es cierto, en efecto, que el papel de la ciencia en la sociedad moderna se ha acrecentado constantemente a lo largo de estos últimos siglos, que ocupa en ella hoy un lugar importantísimo y que está a punto de hacerse preponderante. Es cierto también que se ha convertido en un factor de una gran importancia, quizá incluso decisiva, en la historia. No es menos cierto que su unión con la ciencia aplicada es más que estrecha: los grandes «instrumentos» de la física nuclear son fábricas, y nuestras fábricas automáticas no son más que teoría encarnada, como lo son, por lo demás, un gran número de objetos de nuestra vida cotidiana, desde el avión que nos transporta hasta el altavoz que nos permite hacernos oír...

Todo esto sin duda no es un fenómeno completamente nuevo, sino el resultado de un desarrollo. De un desarrollo cada vez más acelerado, cuyos comienzos están lejos de nosotros. Así está claro que la historia de la astronomía moderna está indiscutiblemente ligada a la del telescopio y que, en general, la ciencia moderna hubiera sido inconcebible sin la construcción de los innumerables instrumentos de observación y medida de los que se sirve, en cuya fabricación, como nos lo ha demostra-

do Daumas, se ha realizado desde los siglos XVII y XVIII la colaboración del sabio y del técnico [9]. Es indiscutible que hay un paralelismo sensible entre la evolución de la química teórica y la de la química industrial, entre la de la teoría de la electricidad y su aplicación.

Sin embargo, esta interacción entre la teoría y la práctica, la penetración de la segunda por la primera, y viceversa, la elaboración teórica de la solución de problemas prácticos —y hemos visto durante y después de la guerra hasta dónde puede llegar esto— me parece que es un fenómeno esencialmente moderno. La Antigüedad y la Edad Media nos ofrecen pocos ejemplos, si es que nos los ofrecen, fuera de la invención del cuadrante solar y del descubrimiento por Arquímedes del principio que lleva su nombre [10]. En cuanto a las técnicas antiguas nos es forzoso admitir que, incluso en Grecia, son algo muy diferente de la «ciencia aplicada». Por sorprendente que pueda parecernos, se pueden edificar templos y palacios, e incluso catedrales, cavar canales y construir puentes, desarrollar la metalurgia y la cerámica, sin poseer un conocimiento científico, o poseyendo sólo rudimentos de éste. La ciencia no es necesaria para la vida de una sociedad, para el desarrollo de una cultura, para la edificación de un Estado o incluso de un Imperio. Por eso hubo imperios, y muy grandes, civilizaciones, y muy bellas (pensemos en Persia o en China), que carecieron completa o casi completamente de ella; como hubo otras (pensemos en Roma) que, habiendo recibido su herencia no añadieron nada o casi nada. Por eso no debemos exagerar el papel de la ciencia como factor histórico: en el pasado, incluso allí donde existió efectivamente, como en Grecia, o en el mundo occidental premoderno, fue mínimo [11].

Esto nos lleva, o nos vuelve a llevar, al problema de la ciencia como fenómeno social, y al de las condiciones sociales que permiten o dificultan su desarrollo. Que existen tales condiciones es perfectamente evidente, y en esto estoy muy de acuerdo

[9] Esta colaboración llevó consigo la aparición y el desarrollo de una industria completamente nueva, la de los instrumentos científicos, que jugaban —y juegan aún— un papel preponderante en la *cientifización* de la tecnología y cuya importancia no ha dejado de aumentar con cada progreso realizado en el ámbito de las ciencias, y en particular en el de las ciencias experimentales. Efectivamente, ¿cómo sería posible el desarrollo de la física atómica sin el desarrollo paralelo de los ordenadores y de la fotografía?

[10] Se puede añadir el ejemplo del célebre túnel de Eupalinos.

[11] Neugebauer señala el ínfimo número de sabios en la Antigüedad.

con Guerlac. Además, ¿cómo no habría de estarlo dado que yo mismo he insistido en ello [12] hace unos años? Para que la ciencia nazca y se desarrolle es preciso, como nos lo explicó ya Aristóteles, que haya hombres que dispongan de ratos de ocio; pero esto no basta: es preciso también que entre los miembros de las *leisured classes* aparezcan hombres que encuentren su satisfacción en la comprensión, la *theoria;* es preciso además que este ejercicio de la *theoria,* la actividad científica, tenga un valor a los ojos de la sociedad [13]. Ahora bien, estas cosas no son en modo alguno necesarias; son cosas incluso muy raras, y que en mi opinión no se realizan en la historia más que dos veces. Pues, mal que le pese a Aristóteles, el hombre no está animado naturalmente del deseo de comprender; ni siquiera el hombre de Atenas. Y las sociedades, pequeñas o grandes, aprecian generalmente muy poco la actividad, puramente gratuita, y en sus principios por lo menos, perfectamente inútil, del teórico [14]. Pues hay que reconocerlo, la teoría no conduce, por lo menos inmediatamente, a la práctica; y la práctica no engendra, por lo menos directamente, la teoría. La mayor parte de las veces, muy al contrario, se aparta de ella. Así, no fueron los harpedonaptas egipcios, que tenían que medir los campos del valle del Nilo, quienes inventaron la geometría: fueron los griegos, que no tenían que medir nada de nada. Los harpedonaptas se contentaron con fórmulas. Igualmente no fueron los babilonios, que creían en la astrología y por eso necesitaban poder calcular y prever las posiciones de los planetas en el cielo, como acaba de recordarnos Van der Waerden, quienes elaboraron un sistema de movimientos planetarios [15]. Fueron, una vez más, los griegos, que no creían en ello; los babilonios se contentaron con inventar métodos de cálculo —fórmulas una vez más— extremadamente ingeniosas, por otra parte.

Resulta de ello, me parece, que si podemos explicar por qué la ciencia no nació y no se desarrolló en Persia o China —las grandes burocracias, tal como nos ha explicado Needham,

[12] Cf. mi artículo en *Scientific Monthly,* t. LXXX, 1955, pp. 107-111.

[13] Las aristocracias guerreras desprecian la ciencia: por eso, como Esparta, no la cultivaron; tampoco las sociedades «adquisitivas», como Corinto. Pienso que es inútil dar ejemplos más recientes.

[14] Son resultados prácticos los que Hierón pide a Arquímedes. Y este último es glorificado por la tradición por la invención —legendaria— de máquinas de guerra. Igualmente eran resultados prácticos los que Louvois esperaba de la Real Academia de Ciencias, y esto contribuyó al declive de esta última.

[15] La astrología, se olvida a menudo, no se interesa más que por las posiciones de los planetas en el cielo y por las figuras que forman en él.

son hostiles al pensamiento científico independiente[16]— y si, en rigor, podemos explicar por qué pudo nacer y desarrollarse en Grecia, no podemos explicar por qué ocurrió así efectivamente.

Por eso me parece vano querer deducir la ciencia griega de la estructura social de la ciudad; o incluso del *agora*. Atenas no explica a Eudoxio, ni a Platón. Como tampoco Siracusa explica a Arquímedes; o Florencia a Galileo. Creo por mi parte que ocurre lo mismo en los tiempos modernos e incluso en nuestro tiempo, a pesar del acercamiento de la ciencia pura y de la ciencia aplicada del que he hablado hace un momento. No es la estructura social de la Inglaterra del siglo XVII la que puede explicar a Newton, como tampoco la de la Rusia de Nicolás I puede aclarar la obra de Lobatchevscki. Esa es una empresa completamente quimérica, tan quimérica como la de querer predecir la evolución futura de la ciencia o las ciencias en función de la estructura social, o de las estructuras sociales, de nuestra sociedad, o de nuestras sociedades.

Pienso que ocurre lo mismo en lo que concierne a las aplicaciones prácticas de la ciencia: no es por ellas por lo que se puede explicar su naturaleza y su evolución. Creo, en efecto (y si eso es *idealismo*, estoy dispuesto a soportar el oprobio de ser un *idealista* y a sufrir los reproches y las críticas de mi amigo Guerlac), que la ciencia, la de nuestra época, como la de los griegos, es esencialmente *theoria*, búsqueda de la verdad y que por esto tiene, y siempre ha tenido, una vida propia, una historia inmanente y que sólo en función de sus propios problemas, de su propia historia, puede ser comprendida por sus historiadores.

Creo incluso que es ésa justamente la razón de la gran importancia de la historia de las ciencias, del pensamiento científico, para la historia general. Pues si la humanidad, tal como Pascal ha dicho, no es más que un solo hombre que vive siempre y que aprende siempre, es nuestra propia historia, mucho más, es nuestra autobiografía intelectual lo que hacemos al estudiarla. Y es también por esto por lo que es tan apasionante y al mismo tiempo tan instructiva; nos revela al espíritu humano en lo que tiene de más elevado, en su persecución incesante,

[16] Incluso hoy no buscan más que resultados «prácticos» y si fomentan a veces las investigaciones teóricas —*fundamental research*— es en la medida en que esperan que tengan aplicaciones. Por eso los teóricos abundan muy a menudo en sus ideas y siguiendo e imitando a Bacon, tratan de persuadir a las sociedades de que, pronto o tarde, la investigación teórica resultará «rentable».

siempre insatisfecha y siempre renovada de un objetivo que siempre se le escapa: la búsqueda de la verdad, *itinerarium mentis in veritatem.* Ahora bien, este *itinerarium* no se da anticipadamente y el espíritu no avanza en línea recta. El camino hacia la verdad está lleno de obstáculos y sembrado de errores, y los fracasos son en él más frecuentes que los éxitos. Fracasos además tan reveladores e instructivos a veces como los éxitos. Por ello nos equivocaríamos al olvidar el estudio de los errores: a través de ellos progresa el espíritu hacia la verdad. El *itinerarium mentis in veritatem* no es un camino recto. Da vueltas y rodeos, se mete en callejones sin salida, vuelve atrás, y ni siquiera es un camino, sino varios. El del matemático no es el del químico, ni el del biólogo, ni siquiera el del físico... Por eso necesitamos proseguir todos estos caminos en su realidad concreta, es decir, en su separación históricamente dada y resignarnos a escribir historias *de las ciencias* antes de poder escribir la historia *de la ciencia* en la que vendrán a fundirse como los afluentes de un río se funden en éste.

¿Se escribirá alguna vez? Esto sólo lo sabrá el futuro.

ÍNDICE DE NOMBRES





impreso en offset cemont, s. a.
ajusco 96 - méxico 13, d. f.
tres mil ejemplares
enero 19 de 1978